

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## **Prioritní řízení spotřebičů napájených z obnovitelných zdrojů**

Priority Management Consumers Supplied from Renewable  
Sources

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Vítězslav Roman**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2601T004 Měřicí a řídicí technika

Téma: **Prioritní řízení spotřebičů napájených z obnovitelných zdrojů**  
**Priority Management Consumers Supplied from Renewable Sources**

Zásady pro vypracování:

1. Nastudovat problematiku komunikace po silovém vedení dle ČSN EN 50065.
2. Seznámit se s problematikou proměnného výkonu obnovitelných zdrojů (solární a větrné elektrárny).
3. Navrhnout řešení prioritního řízení spotřebičů.
4. Realizace navrženého řešení.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. ČSN EN 50065. Praha: Český normalizační institut, c2003.
2. KAMINSKÝ, J.- VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vyd. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1998. 96 s. ISBN 80-7078-445-8 (brož.).
3. QUASCHNING, V. [překlad Václav Bartoš]. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha : Grada Publishing, 2010. 296 s. ISBN 978-80-247-3250-3 (brož.).
4. GELLINGS, C.W. *The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response*. CRC Press, 2009. 250 s. ISBN-13: 978-1439815748.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. David Vala**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární  
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

Datum odevzdání diplomové práce 4.5.2012

*Vítězslav Roman*  
.....

Podpis

## **Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Davidu Valovi za správné nasměrování při zadání této diplomové práce, jeho odborné konzultace a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat Radomíru Švédovi za poskytnutí mnoha komponentů při výrobě zařízení a jeho následné budoucí uplatnění. Závěrem bych rád poděkoval všem přátelům za jejich podporu během mého studia.

## **Abstrakt:**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací zařízení pro prioritní řízení spotřebičů napájených z obnovitelných zdrojů. V první části jsou popsány obnovitelné zdroje energie, power line komunikace a její příslušné normy. Druhá část práce se věnuje vlastní konstrukci zařízení pro prioritní řízení spotřebičů komunikující po síťovém rozvodu 230 V.

## **Abstract:**

This diploma thesis deals with a design and a realization of device for priority control of appliances powered by renewable resources. In the first part, I describe the renewable resources of energy, a powerline communication and its relevant communication standards. The second part is devoted to the construction of the device for priority control of appliances which communicate through power distribution system 230V.

## **Klíčová slova:**

PLC, power line komunikace, MASTER, SLAVE, prioritní řízení, obnovitelné zdroje, mikrokontrolér, PIC, modem

## **Key words:**

PLC, power line communication, MASTER, SLAVE, priority management, renewable sources, microcontroller, PIC, modem

## Seznam použitých symbolů a zkratek:

MCU	- jednočipový mikropočítač
DPS	- desky plošných spojů
FLASH-	elektricky programovatelná paměť typu RAM
USB	- Universal Serial Bus – universální sériová sběrnice
A/D (AD)	- analogově digitální převodník
LED	- light emitting diode – světelný zdroj vyzařující monochromatické záření
PLC	- Power line komunikace – komunikace po energetické síti
EMC	- elektromagnetická kompatibilita
GSM	- Groupe Spécial Mobile – Globální systém pro mobilní komunikaci
DSL	- Digital Subscribe line
LAN	- Local Area Network – lokální síť
LW	- dlouhé rádiové vlny
AM	- amplitudová modulace
ASK	- digitální amplitudová modulace
PSD	- power spectral density – spektrální hustota
EMI	- elektromagnetická interference
Bd	- Baud – jednotka modulační rychlosti
RZ	- return zero – návrat do nuly
NRZ	- none return zero – bez návratu do nulového stavu
MASTER	- hlavní řídicí jednotka
SLAVE	- ostatní spínací jednotky
AC/DC	- měnič střídavého napětí na stejnosměrné
PIC	- typ mikrokontroléru firmy Microchip
InSb	- antimonid india
InAs	- arsenik india
smd	- surface mount device – součástky pro povrchovou montáž
$q_n$	- kanálový symbol
$d_n$	- datový symbol
burst	- modulovaný signál po dobu jednoho bitu

## Seznam použitých obrázků a tabulek

Obrázek 1 – křemíkový fotovoltaický článek [2].....	- 4 -
Obrázek 2 - výkon fotovoltaických článků během dne [13] .....	- 5 -
Obrázek 3 – vliv útlumu a zkreslení na signál [9].....	- 8 -
Obrázek 4 – šířka pásma [9].....	- 9 -
Obrázek 5 – náhradní model vedení [7] .....	- 10 -
Obrázek 6 – přímá fázová komunikace [24] .....	- 12 -
Obrázek 7 – mezifázová komunikace bez spojení fází [24].....	- 12 -
Obrázek 8 – mezifázová komunikace se spojením fází [24].....	- 13 -
Obrázek 9 – zařízení mezi fázemi [24] .....	- 13 -
Obrázek 10 – spojovací filtr [24] .....	- 13 -
Obrázek 11 – schématické znázornění zdrojů ručení při PLC [25].....	- 14 -
Obrázek 12 – šířka spektra [10] .....	- 18 -
Obrázek 13 – konstelace 2-ASK a 4-ASK [9] .....	- 24 -
Obrázek 14 – konstelace 2-PSK a 4-PSK [9].....	- 25 -
Obrázek 15 – ASK,FSK a PSK modulace harmonického signálu [9] .....	- 26 -
Obrázek 16 – schématické znázornění OFDM [9].....	- 27 -
Obrázek 17 – blokové schéma modulátoru OFDM [9].....	- 27 -
Obrázek 18 – blokové schéma zařízení.....	- 30 -
Obrázek 19 – označení vývodů obvodu TDA5051 [11] .....	- 31 -
Obrázek 20 – blokové schéma obvodu TDA5051 [11].....	- 32 -
Obrázek 21 – modulovaný signál ASK modulací [11] .....	- 33 -
Obrázek 22 – spektrum nosné 132,5 kHz [11].....	- 33 -
Obrázek 23 – schéma připojení TDA5051 na síť 230 V [11] .....	- 34 -
Obrázek 24 – popis vývodů [27].....	- 35 -
Obrázek 25 – blokové schéma PIC16F88 [27] .....	- 36 -
Obrázek 26 – popis vývodů [28].....	- 37 -
Obrázek 27 – blokové schéma PIC16F628 [28] .....	- 38 -
Obrázek 28 – rozměry AC/DC měniče [22].....	- 39 -
Obrázek 29 – Hallův snímač s otevřenou smyčkou [13].....	- 41 -
Obrázek 30 – měřicí převodník s transformátorem [29] .....	- 43 -
Obrázek 31 – blokový diagram ACS712 [21].....	- 44 -
Obrázek 32 – lineární závislost výstupního napětí na měřeném AC proudu [21].....	- 44 -
Obrázek 33 – připojení obvodu ACS712 k AD převodníku v mcu [21].....	- 44 -
Obrázek 34 – relé L90.....	- 45 -
Obrázek 35 – zapojení kontaktů a rozměry relé L90 [17].....	- 45 -
Obrázek 36 – spřáhovač fází X10 [30].....	- 46 -
Obrázek 37 – pomocná DPS pro vyzkoušení modemu TDA5051 .....	- 46 -
Obrázek 38 – schéma připojení krystalu k TDA5051 [18] .....	- 47 -
Obrázek 39 – DPS spínací jednotky (slave).....	- 48 -



Obrázek 40 – panel nouzového napájení síťových zásuvek s DC/AC měničem pro uplatnění prioritního spínání ..... - 52 -

Tabulka 1 – stanovené kmitočty podle normy ČSN EN 50065 [24]..... - 11 -

Tabulka 2 – meze rušivého napětí na síťových svorkách 0,15 až 30 MHz [10] ..... - 19 -

Tabulka 3 – meze vyzařované intenzity pole [10] ..... - 19 -

Tabulka 4 – meze výkonu rušení [10]..... - 19 -

Tabulka 5 – Stručné parametry obvodu TDA5051 [11]..... - 31 -

Tabulka 6 – význam vývodů obvodu TDA5051 [11] ..... - 31 -

# Obsah:

<b>1. ÚVOD</b>	<b>- 1 -</b>
<b>2. OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE</b>	<b>- 2 -</b>
2.1. VĚTRNÁ ENERGIE	- 2 -
2.2. SLUNEČNÍ ENERGIE	- 3 -
2.3. BIOENERGIE	- 5 -
2.4. ENERGIE VODY	- 5 -
2.5. ENERGIE GEOTERMÁLNÍ	- 6 -
<b>3. POWER LINE KOMUNIKACE (PLC)</b>	<b>- 7 -</b>
3.1. HISTORIE A POPIS	- 7 -
3.2. KOMUNIKAČNÍ KANÁL	- 7 -
3.3. ŠÍŘKA PÁSMO	- 8 -
3.4. PARAMETRY VEDENÍ	- 9 -
3.5. EMC V POWER LINE KOMUNIKACI	- 14 -
<b>4. NORMA ČSN EN 50065</b>	<b>- 16 -</b>
4.1. KLASIFIKACE KMITOČTOVÝCH PÁSEM	- 16 -
4.2. PROTOKOL PŘÍSTUPU	- 17 -
4.3. VÝSTUPNÍ NAPĚTÍ VYSÍLAČE	- 17 -
4.4. MEZE RUŠENÍ	- 19 -
<b>5. MODULACE</b>	<b>- 22 -</b>
5.1. PÁSMOVÝ SIGNÁL	- 22 -
5.2. MODULAČNÍ RYCHLOST	- 22 -
5.3. PŘENOSOVÁ RYCHLOST	- 23 -
5.4. ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ MODULACÍ	- 23 -
5.5. AMPLITUDOVÉ KLÍČOVÁNÍ ASK MODULACE	- 24 -
5.6. FREKVENČNÍ KLÍČOVÁNÍ FSK MODULACE	- 24 -
5.7. FÁZOVÉ KLÍČOVÁNÍ PSK MODULACE	- 25 -
5.8. ORTOGONÁLNÍ FREKVENČNÍ KLÍČOVÁNÍ OFDM	- 26 -
5.9. VÝBĚR MODULACE PRO POWER LINE KOMUNIKACI	- 27 -
<b>6. NÁVRH VLASTNÍHO ZAŘÍZENÍ PRO PRIORITNÍ ŘÍZENÍ SPOTŘEBIČŮ</b>	<b>- 29 -</b>
6.1. POPIS ZAŘÍZENÍ	- 29 -
6.2. VÝBĚR KOMPONENTŮ	- 30 -
6.2.1. PLC modem	- 30 -
6.2.2. Mikrokontrolér	- 34 -
6.2.3. Napájecí zdroj	- 38 -
6.2.4. Měřicí prvek	- 40 -
6.2.5. Relé pro jednotky slave	- 45 -
6.2.6. Spřáhovač fází	- 45 -
6.3. HARDWARE	- 46 -
6.4. SOFTWARE	- 49 -

<b>7. ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>- 51 -</b>
<b>8. ZÁVĚR.....</b>	<b>- 52 -</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>- 53 -</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>- 56 -</b>

# 1. Úvod

Obnovitelné zdroje energie jsou v dnešní době často probíraným tématem. Jejich využívání a vývoj neustále narůstá. Největší rozvoj alternativní výroby elektrické energie mají na svědomí nejspíše fotovoltaické články. Vhodným spínáním vybraných spotřebičů kdy článek dodává elektrickou energii a naopak lze ušetřit velké procento platby. V této oblasti není prioritní spínání spotřebičů neznámý pojem. V profesionální oblasti se používá zařízení známé jako wattrouter, které zajišťuje právě zmiňované spínání spotřebičů (boilery) v době kdy je dodávána elektrická energie.

Cílem této práce bude ale spínání spotřebičů v domácnosti podle nastavených priorit ne z důvodů ušetření elektrické energie ale abychom zamezili překročení maximálního odběru na jedné přivedené fázi z fotovoltaických článků, které jsou mimo dosah.

Komunikace mezi řídicí jednotkou a ostatními spotřebiči bude provedena po rozvodné síti 230V, proto se i nadále práce bude věnovat především Power line komunikaci. Power Line komunikace (PLC) není novým pojmem. Historie sahá až do 40tých let avšak nikdy se tento způsob přenosu dat neprobojoval na přední místo. První takovou aplikací PLC byl přenos telefonního signálu (USA). Dnes je snaha o využití spíše pro distribuované řízení. Největším problémem je asi dodržení požadavků EMC. Power Line komunikace má spoustu výhod ale na druhou stranu i spoustu překážek. Asi největší výhodou je že distribuční síť 230V máme téměř vždy k dispozici. K samotnému napájení jednotlivých řídicích stanic využíváme distribuční síť, tím máme tedy velké množství přípojných bodů a nemusíme řešit otázku zavádění některé datové sběrnice. Mezi velké nevýhody patří nekompatibilita zařízení mezi výrobci, nemožnost průchodu signálu přes transformátor do další sítě (řeší se pomocí GSM přenosu) a také velké rušení v distribuční síti jak ze strany poskytovatele tak i samotný PLC systém zatěžuje frekvenční pásmo.

## 2. Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje energie, kromě hydroenergie, dávají méně než 1% celkově potřebné energie. V budoucnosti se to musí změnit, protože je neobnovitelných zdrojů energie stále méně, a jejich škodlivé působení je mnohem větší v posledních několika desetiletích. Slunce například dává Zemi 15 tisíckrát více energie než je lidstvo schopno spotřebovat. Z toho je jasně viditelné že tyto energie můžeme více a lépe využívat. Vývoj obnovitelných zdrojů energie je důležitý kvůli několika důvodům.

[4]

- Zmenšování emise oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) do atmosféry
- zvětšování podílu obnovitelných zdrojů energie zvětšuje energetické zachovávání systému (zmenšení závislosti na dovozu energetických surovin)
- obnovitelné zdroje energie by se měly stát ekonomicky konkurenčním konvenčním zdrojů energie

[4]

Mezi nejrozšířenější a ekonomicky konkurenční patří zejména technologie jako je energie větru, hydrocentrály, energie z biomasy a sluneční energie. Ostatní technologie jsou ještě stále závislé na poptávce trhu a jejich rozvoj je zatím velmi pomalý.

[4]

### 2.1. Větrná energie

Málo který energetický zdroj je tak všudypřítomný a v tak hojné míře využitelný jako je větrná energie. Máme ji neustále po ruce v obrovském množství, a je nasnadě, že ji lidé prostřednictvím větrných kol využívají. Žádný jiný energetický zdroj není však bohužel tak nestálý a tak nevypočitatelný jako je právě vítr. Za veškerý život na Zemi a stejně tak i za vítr vděčíme Slunci. Jeho tepelné záření nestejnoměrně zahřívá zemský povrch a také nad ním ležící vzduchové vrstvy. Zahřátý vzduch stoupá vzhůru a dělá tak místo přicházejícímu, studenějšímu vzduchu. Posouzeno z hlediska obrovských prostorů, má vzduch neustálou snahu vyrovnávat v atmosféře rozdíly tlaku vzduchu, vznikající působením Slunce. Takto vyvolaný vyrovnávací pohyb vzduchové hmoty označujeme jako vítr. Vzduch se však v blízkosti zemského povrchu pohybuje zřídka tak pěkně stejnoměrně, jak by bylo pro optimální provoz větrného zařízení žádoucí. Hory, kopce, stromy a budovy brání stejnoměrnému proudění a brzdí jej. Zatímco vyšší stanoviště často příznivě ovlivňují použitelnou rychlost větru, vytvářejí stromy a budovy v přízemních vrstvách vzduchu poryvy a víry, které jsou pro využití větrné energie spíše nežádoucí.

[1]

Historie využití větrné energie sahá až do starověké Persie, kde byly nalezeny zbytky větrného kola. Vítr byl první živel který lidé dokázali energeticky využít (pohon lodí, čerpání vody, mletí obilí).

- Přímá přeměna energie větru na mechanickou práci
- Přímá přeměna energie větru na elektřinu (dodávání do elektrizační sítě nebo pro přímou spotřebu)

[1]

## 2.2. Sluneční energie

Pro Zemi je Slunce největším dodavatelem energie. Jeho záření můžeme přímo využívat pro výrobu tepla, chladu a elektřiny, nepřímo jako energie vodních toků, mořských vln nebo větru. Tato energie pochází od nukleárních reakcí v nitru Slunce, kde teplota dosahuje až 15 miliónů °C. Nadále se zaměříme pouze na přímé využití sluneční energie.

[2]

- Solární kolektor
- Fotovoltaický článek
- Usměrnování sluneční energie

Solární kolektor mění sluneční energii na tepelnou energii vody nebo jiné tekutiny. Systémy pro ohřev vody mohou být otevřené kde voda prochází přímo skrz kolektor nebo uzavřené kdy je kolektor vyplněn tekutinou. Tyto systémy se mohou používat kdekoli i když je teplota pod nulou. Během dne je voda ohřívána pouze v kolektorech a při nepřízní počasí kolektory pomáhají v ohřevu vody. Naopak pro ohřev bazénu se používá systém otevřený, kde kolektorem proudí přímo vody z bazénu. V domácnostech se kombinují s ústředním vytápěním.

[2]

Fotovoltaické panely jsou polovodičové prvky které přímo mění energii slunečního záření na elektrickou energii. Jejich účinnost je od 10 po 25 %. Používají se jako samostatné zdroje energie nebo jako sekundární. Jako samostatné se využívají na satelitech, dopravních značkách, kalkulačkách a u vzdálených objektů které vyžadují dlouhotrvající zdroj energie. Princip fotovoltaického článku je následující. Na přechodu P-N se vytvoří rozdíl potenciálů. V polovodiči typu N vodivost zajišťují elektrony, v polovodiči typu P kladné díry. Při fotoefektu na tomto přechodu bude na elektron i na díru působit elektrické pole. Částice se budou pohybovat k elektricky opačnému náboji a začne procházet elektrický proud. Mezi oběma typy polovodiče tak naměříme elektrické napětí zpravidla menší než 1 V. Články se proto spojují do série do větších celků. Mezi nejpoužívanější materiál patří křemík, který je dostupný a má velmi dobře propracovanou technologii výroby. Rozměr jednoho článku bývá 10 x 10 cm. Spojují se do panelu o výkonech 10 až 300 W.

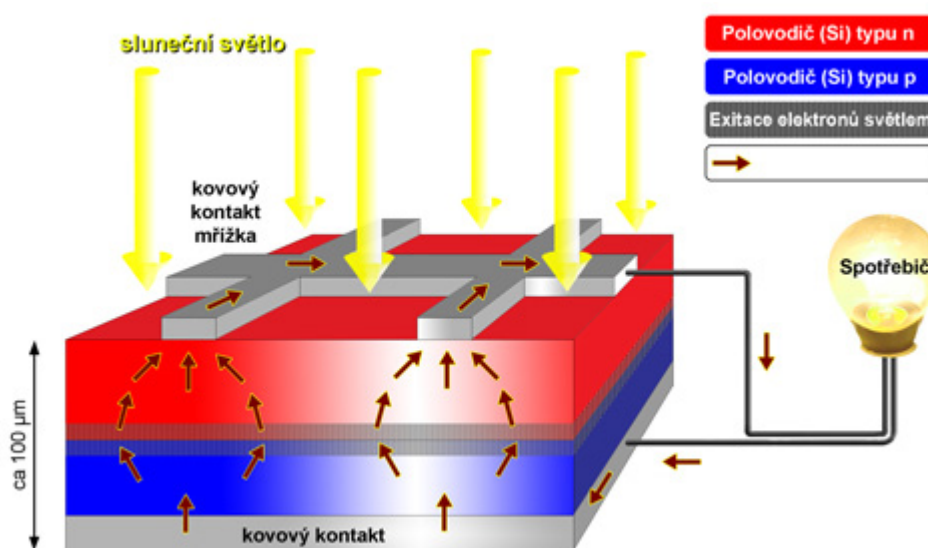
[2]

Mezi výhody patří:

- Zdroj elektřiny na těžko přístupných místech
- Pokrytí na domy či umístění na stožáry

Mezi nevýhody patří:

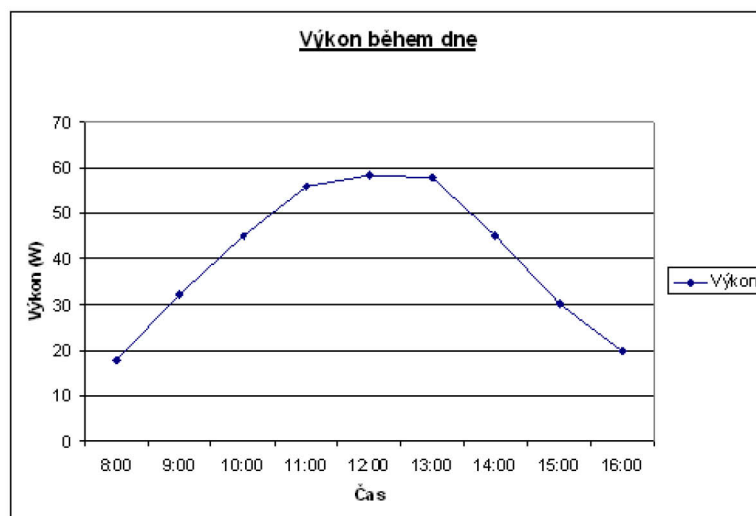
- Stále „vysoká“ cena
- Závislost na denním a ročním období



Obrázek 1 – křemíkový fotovoltaický článek [2]

Usměrňování sluneční energie se používá pro pohon generátorů nebo velkých tepelných motorů. Usměrňování docílíme pomocí mnoha čoček a zrcadel umístěných v talíři nebo konfigurační věži. Takové zařízení se nazývá solární elektrárna. Historie sahá až do roku 1883 kdy pomocí koncentrace slunečního záření do ohniska parabolického talíře se ohřívala pára která poháněla tiskařský stroj. Stejný princip využívají dnes pokusné elektrárny kdy je také ohřívána pára, která pohání parní turbínu a následně generátor elektrické energie. Věžové elektrárny pak používají ještě olejový nebo šterkový akumulátor tepelné energie aby turbogenerátor mohl pracovat i po západu Slunce. Jedná se o rozsáhlé systémy, kde je zapotřebí náročná údržba zrcadel a jiných komponentům, a proto všechny tyto elektrárny zůstaly na pokusné úrovni.

[3]



Obrázek 2 - výkon fotovoltaických článků během dne [13]

## 2.3. Bioenergie

Je obnovitelná energie, která vzniká uvolněním chemické energie ze surovin biologického původu. Tyto zdroje energie se označují jako biomasa. Z ní se vyrábí nejrůznější druhy biopaliv. V malých termoelektrárnách můžeme získat elektrickou energii z vodní páry, která vznikla spalováním biopaliva. Jako palivo se dále využívá bioplyn, který vznikne fermentací bez přítomnosti kyslíku. Hlavní výhodou biomasy je menší emise škodlivých a odpadových vod. Využívají se zbytky ze zemědělství, lesnictví nebo dřevařského průmyslu.

[4]

## 2.4. Energie vody

Patří do nejvýznamnějších obnovitelných zdrojů energie, který je ekonomicky konkurenční fosilním palivům a nukleární energii. Využívání hydroenergie má ale svá omezení. Nemůže se používat všude, protože závisí na množství a rychlosti tekoucí vody, která se během roku mění. Kvůli kolísání množství vody se stavějí hráze a nádrže, které ale zvyšují výslednou cenu výroby energie. Kvůli akumulaci vody se mění i množství podzemních vod, která má vliv na růst rostlin. Z toho vyplývá, že hydroenergie také negativně zasahuje do životního prostředí.

[4]

Základní typy hydroelektráren:

- Průtoková
- Akumulační
- Reverzibilní



Spotřeba elektrické energie závisí na době, dni v týdnu i ročním období. Pro vyrovnávání dodávky elektrické energie se využívají reverzibilní hydroelektrárny. Je složena ze dvou nádrží spodní a horní. Při malé spotřebě se čerpá voda ze spodní nádrže do horní a při velké naopak.

[4]

## **2.5. Energie geotermální**

Tepelná energie Země, která vznikla formováním planety z prachu a plynů před více než čtyřmi miliardy let a radioaktivním rozkladem prvků v horninách. Jedná se tedy o obnovitelný zdroj energie. Základním médiem který přenáší teplo z vnitra Země je voda nebo pára. Potenciál geotermální energie je ohromný, 50000x větší než všechna energie získaná z ropy a plynu. V přírodě se nejčastěji objevuje ve formě sopek, horkých pramenů a gejzírů. Má všestranné využití zejména pak získávání elektrické a tepelné energie jak v domácnostech tak i v průmyslu. Mezi hlavní nevýhodu patří lokalita, kde můžeme tuto energii získávat. Pro získávání elektrické energie se využívá pára pro pohyb generátorů (princip suché páry, flash princip, binární princip).

[4]

## 3. Power Line komunikace (PLC)

### 3.1. Historie a popis

Power Line Communication (PLC) je technologie, která využívá jako komunikační kanál pro přenos dat silové energetické rozvody. Hlavní výhodou celé této myšlenky je použití pro komunikaci přímo silové rozvody a tím snížíme náklady za rozvody komunikačního média. Jednotlivé komponenty jsou téměř vždy nějakým způsobem napájeny z rozvodné sítě. Samotná myšlenka přenosu dat po silovém vedení je zdánlivě velkolepá, faktem ale zůstává že i dnes značně vzdálená od reality.

[5]

Historie power line komunikace sahá až do 30tých let minulého století kdy společnosti tuto technologii využívali pro veřejné služby. V 50tých letech se toto využívalo k dálkovému spínání městského osvětlení. V 70tých let začaly první praktické testy pro obousměrnou komunikaci a na počátku 21. století byl pokus dostat PLC do soukromých obydlí na síti 230V zejména pro domácí intercomy a dětské chůvičky. V polovině 90tých let některé společnosti začali vyvíjet širokopásmové modemy které měli sloužit ke zpřístupnění dat i videa v domácnosti. Vysoká cena i složitost technologie nakonec přispěla k úpadku power line komunikace. Nastoupili kabelové modemy s technologií DSL.

[6]

PLC můžeme rozdělit na úzkopásmovou ( $kHz$ ) a širokopásmovou v řádu desítek  $MHz$ . Úzkopásmovou PLC používají zejména distribuční společnosti pro dálkový odečet například z elektroměrů nebo pro domácí automatizaci. Širokopásmové PLC mohou přenášet vyšší datový tok ( $20Mbit/s$ ) proto je snaha použít je pro přenos dat mezi počítačovými sítěmi LAN nebo připojení internetu v domácnostech. Zde nastává problém průchodnosti signálu přes transformátor, a proto se signál dovede až do tohoto bodu jinak než pomocí PLC. Power line komunikace použita v této práci bude pouze úzkopásmová. Samotná technologie přenosu není složitá. Princip spočívá v odfiltrování 230V. Pak už můžeme přenášet signály vyšších frekvencí na které modulujeme digitální signál. Při praktické realizaci už to tak jednoduché není protože distribuční síť obsahuje velké rušení.

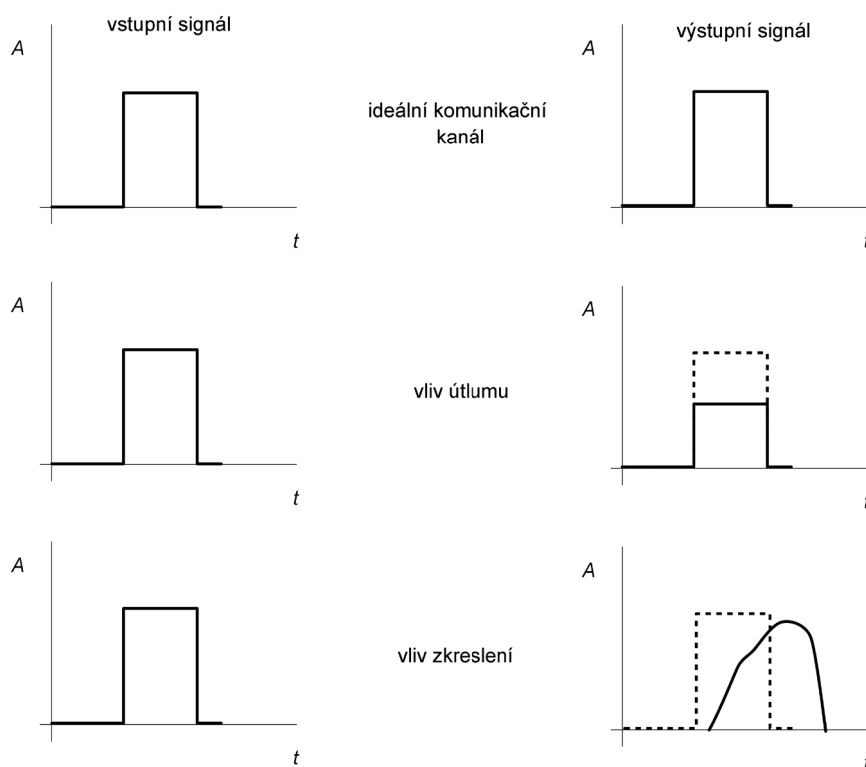
[6]

### 3.2. Komunikační kanál

Slouží k přenosu informace od zdroje k příjemci a je součástí datové komunikace. Fyzicky může být komunikačním kanálem metalický vodič, optický nebo i otevřený prostor kde je realizován přenos šířením pomocí elektromagnetických vln. Pro přenos dat pomocí technologie PLC je jako komunikační kanál využíváno metalické vedení, kde dochází i k příjmu

jiných nežádoucích signálů. Samotné vedení pak také ovlivňuje přenášený signál. Reálný komunikační kanál není tedy nikdy ideální a proto není ideální i přenášený signál. Je znehodnocen útlumem a zkreslením. Útlum je způsoben parametry vedení jako je rezistence, svod a zkreslení signálu je způsobeno parametry jako je indukčnost a kapacita.

[9]



Obrázek 3 – vliv útlumu a zkreslení na signál [9]

### 3.3. Šířka pásma

Při přenosu informace je jedním z hlavních aspektů objem dat, který je přenosový kanál schopen přenést za určitý čas. Mluvíme tedy o přenosové kapacitě neboli propustnosti přenosové cesty. Toto však správně určuje pouze přenosová rychlost (*bit/s*). Dosažitelná přenosová rychlost je ale vždy dána souhrnem fyzikálních vlastností přenosového média (vodičů, kabelů apod.) a vlastnostmi dalších technických prostředků, které přenosový kanál spolu vytvářejí.

[9]

Každý přenosový kanál je vždy schopen přenášet jen signály o frekvenci z určitého omezeného intervalu. Signály mimo tento interval jsou přenášeny tak špatně že je nelze k přenosu použít.

[9]

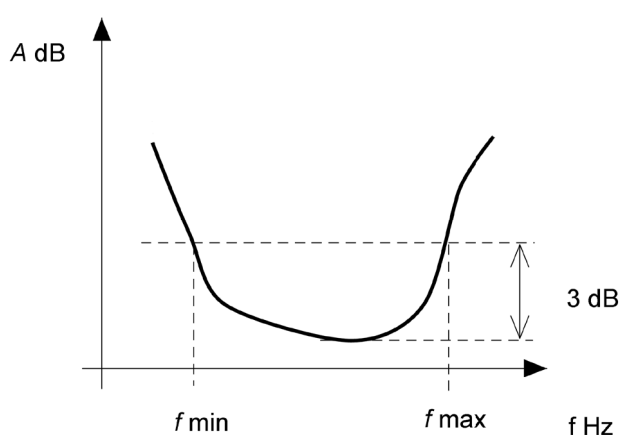
### Šířka pásma (Bandwidth)

Je šířka intervalu frekvencí, které je přenosový kanál schopen přenést. Obecně platí že čím větší je šířka pásma přenosového kanálu, tím větší je přenosová rychlost, kterou na něm lze dosáhnout.

[9]

Přesnou závislost mezi dosažitelnou přenosovou rychlostí a dostupnou šířkou pásma však nelze jednoduše stanovit. Velmi záleží na konkrétní realizaci. Existují však teoretické výsledky, které poskytují horní odhad této závislosti. Konkrétně stanovují maximální teoreticky dosažitelnou modulační i přenosovou rychlost při dané šířce pásma přenosového kanálu.

[9]



Obrázek 4 – šířka pásma [9]

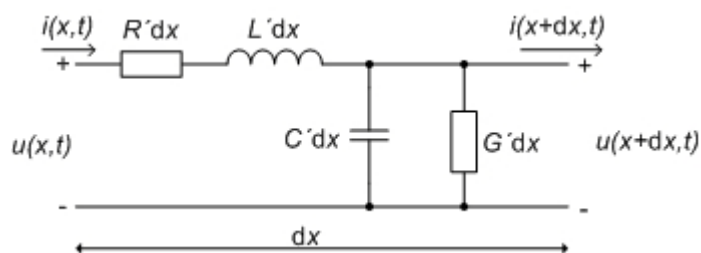
### 3.4. Parametry vedení

Hlavním problémem je že napájecí síť je nehomogenní. Znamená to teda že na ni nelze vyjádřit konstantní charakteristickou impedanci a další parametry vedení. Pro základní popis vedení jsou jak v elektroenergetice tak i v telekomunikaci používány čtyři základní parametry, které určují vlastnosti vedení a tvoří i základní model vedení.

[7]

- Měrný odpor (resistance)  $R$  [ $\Omega/km$ ]
- Měrná indukčnost (induktance)  $L$  [ $mH/km$ ]
- Měrný svod (konduktance)  $G$  [ $\mu S/km$ ]
- Měrná kapacita (kapacitance)  $C$  [ $nF/km$ ]

[7]



Obrázek 5 – náhradní model vedení [7]

Elementární parametry úseku vedení délky  $dx$  jsou pak  $R'dx$ ,  $L'dx$ ,  $C'dx$ ,  $G'dx$ . Na tento model můžeme aplikovat Kirchhoffovy zákony. Po úpravě obdržíme výsledné rovnice.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + R'i + L' \frac{\partial i}{\partial t} = 0 \quad [7]$$

$$\frac{\partial i}{\partial x} + G'u + C' \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad [7]$$

Vzájemným řešením rovnic a úpravami získáme parametry popisující silnoproudé vedení, měrný činitel přenosu  $\gamma$  a charakteristickou impedanci  $Z_c$

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')} \quad [7]$$

kde  $\alpha$  je měrný útlum ( $m-l$ ) a  $\beta$  je měrný fázový posuv ( $rad/m$ ).

Charakteristická impedance 
$$Z_c = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}} \quad [7]$$

Požadavky kladené na přenosové zařízení:

- Nejrychleji přenést data
- zachovat původní funkci přenosového média
- zajistit elektromagnetickou kompatibilitu
- vyhovět stávajícím normám

Hlavním úkolem silového vedení je, pokud to možnosti dovolí, bezeztrátový přenos elektrické energie. Zde se používá většinou kmitočty 50 nebo 60 Hz. Pro přenos dat je hlavním požadavkem rychlost přenosu, což znamená vyšší frekvenci a tady nastává hlavní problém.

Útlumová charakteristika vedení je téměř vyrovnaná pro frekvence od 10 do 150 *kHz* kde útlum je 3 *dB*. Při 230 *kHz* prudce klesá na 28 *dB* a nadále kolísá zhruba kolem 20 *dB*. Pro různé frekvence má vedení různé přenosové charakteristiky. Velikost útlumu také ovlivňují součásti v silových rozvodech jako jsou transformátory nebo hodiny měřící odběr. Síťový transformátor je pro datový signál velkou překážkou, proto se používá přemostění pomocí menšího transformátoru na vyšší kmitočty a kondenzátorů.

[24]

**Tabulka 1 – stanovené kmitočty podle normy ČSN EN 50065 [24]**

Pásmo	Frekvence	Popis
	3 až 95 kHz	Pro dodavatele energie
A	9 až 95 kHz	Pro dodavatele energie a po souhlasu i pro odběratele
B	95 až 125 kHz	Pro odběratele
C	125 až 140 kHz	Pouze pro odběratele – vyžadován protokol o přistoupení k dohodě
D	140 až 148,5 kHz	

Povolené kmitočty pro přenos dat po energetické síti jsou pro USA až do 450 *kHz* z důvodů nepoužívání rozhlasového pásma LW („dlouhé vlny“).

[24]

Rušení způsobující tyristorové regulátory, spínané zdroje nebo sériové motory se vyskytuje na kmitočtech kolem 100 *kHz*, což se považuje jako spodní hranice AM vysílačů (150*kHz*). Z tohoto důvodu se také tato frekvence považuje jako nejnižší možná pro přenos dat po energetické síti. Horní limit je omezen z důvodu nenarušení pásma AM vysílačů 450 *kHz*.

[24]

Přenos dat mezi zařízeními umožňuje signálová vazba.

- Přímá fázová komunikace
- Mezifázová komunikace bez spojení fází
- Mezifázová se spojením fází
- Zařízení umístěno mezi fázemi

[24]

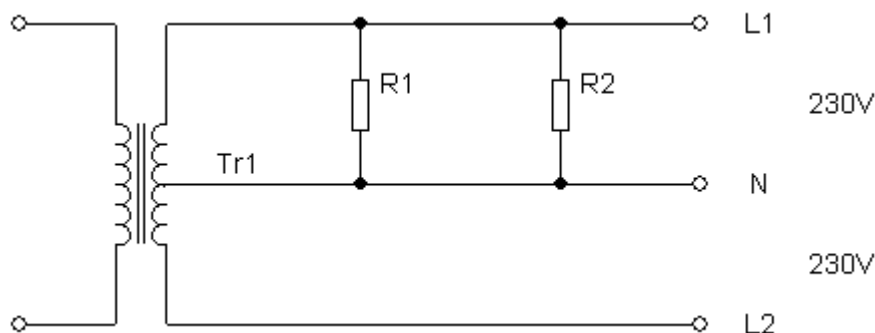
Signál z vysílače pro Power line komunikaci je většinou injektován pouze do jedné fáze. Rozvod je standardně prováděn jako 3-fázový. Distribuce signálu do ostatních fází se zajistí pomocí speciálních filtrů.

[24]

### Přímá fázová komunikace

Všechna zařízení (vysílače i přijímače) jsou připojeny pouze na jednu fázi. Vysílač i přijímač jsou pevně spojeny silovými vodiči, pokud jejich vzdálenost a útlum není obzvlášť velký, není zde žádný problém.

[24]

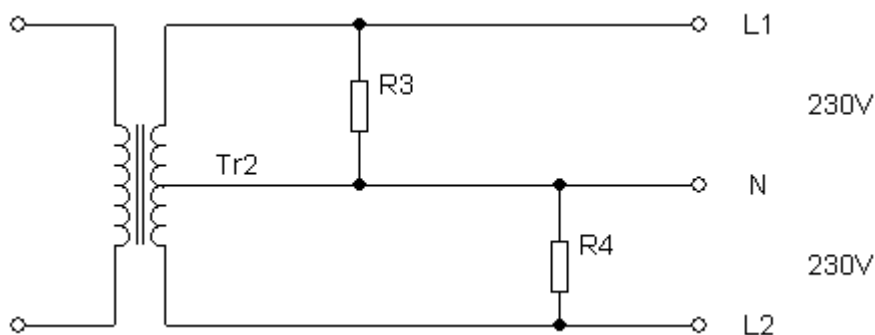


Obrázek 6 – přímá fázová komunikace [24]

### Mezifázová komunikace bez spojení fází

Při této komunikaci některá zařízení jsou připojeny k jiným fázím. Z obrázku je vidět že v tomto případě vede komunikační cesta přes sekundární vedení transformátoru, který je konstruován na kmitočet 50 Hz. Průchod kmitočtů přes tento transformátor může způsobit útlum komunikačního signálu kolem 30 dB. V některých případech se útlum kombinuje i s dalšími šumy v distribuční síti a tak zabraňuje Power line komunikaci.

[24]

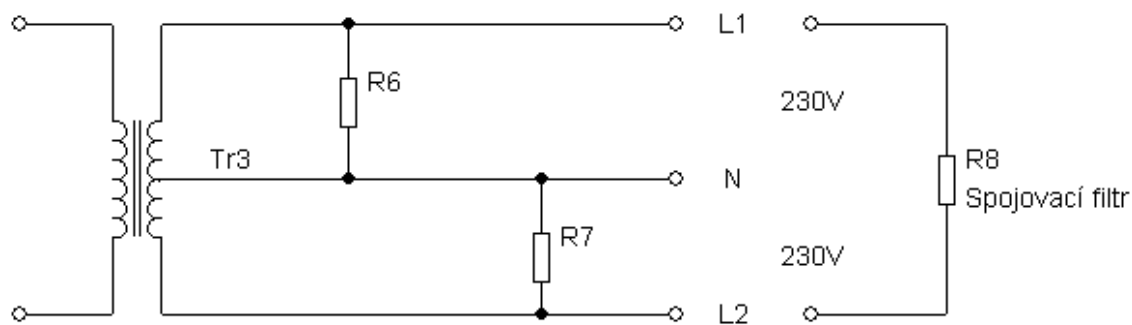


Obrázek 7 – mezifázová komunikace bez spojení fází [24]

### Mezifázová komunikace se spojením fází

Zde je efektivní řešení kdy se fáze přemostí spojovacím filtrem, který má charakter pásmové propusti 100 – 130 kHz. Konstrukce pásmové propusti na těchto kmitočtech je jednoduchá vzhledem k síťovému kmitočtu 50 Hz.

[24]

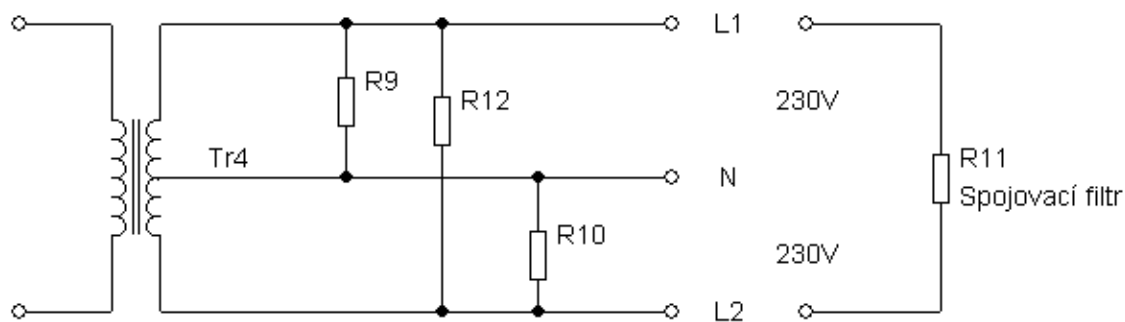


**Obrázek 8 – mezifázová komunikace se spojením fází [24]**

### **Zařízení mezi fázemi**

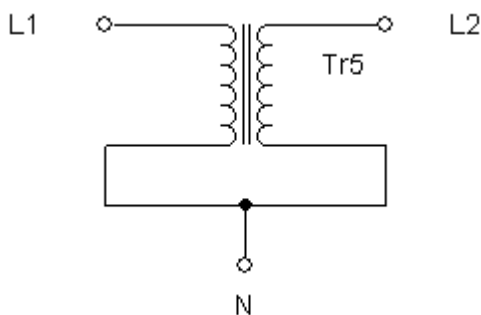
Zde nelze uplatnit spojovací filtr, protože zařízení nemají společnou zem. Při aplikaci spojovacího filtru bychom zkratovali datový signál, který by se nedostal do zařízení připojeného mezi dvě fáze.

[24]



**Obrázek 9 – zařízení mezi fázemi [24]**

Nejlepší řešení tohoto problému je zavedení tří-svorkového spojovacího filtru, který nám propojí fáze pouze signálově.



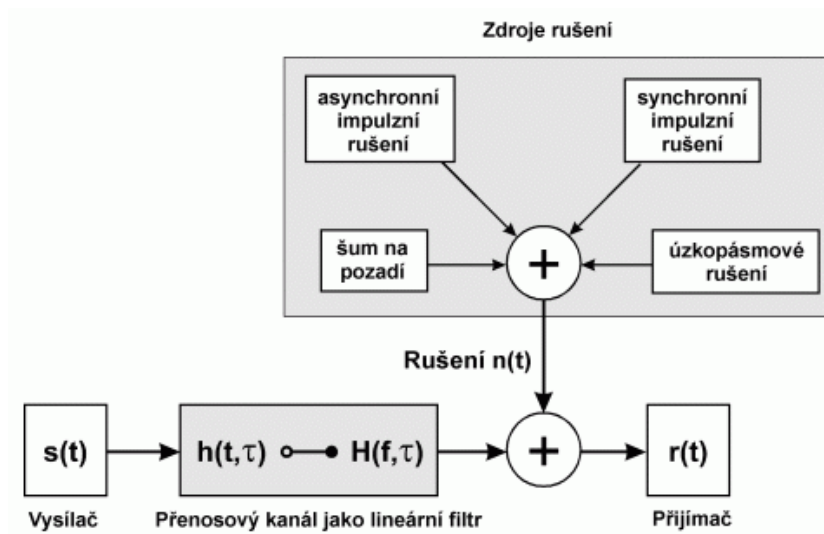
**Obrázek 10 – spojovací filtr [24]**



### 3.5. EMC v Power line komunikaci

Problém rušení při power line komunikaci rozdělujeme stejně jako u jiných zařízení na dvě části. První, kdy zařízení je rušeno z okolí jinými zařízeními nebo kdy se stává samo zdrojem rušení pro ostatní. Mezi zařízení produkující velmi silné rušení v síti patří například spínané zdroje, tyristorové regulátory, universální sériové motory nebo komunikace z rozvodných závodů. Situací, kdy PLC zařízení je rušeno z okolí se zabývá nespočet prací, ale problematikou kdy samo se stává zdrojem rušení už méně. Jsou to zejména radioamatérské asociace. V tomto případě se stává totiž síťový rozvod velkou anténou, která vyzařuje do okolí rušení. Následující obrázek ukazuje schéma možných zdrojů rušení při PLC.

[25]



Obrázek 11 – schématické znázornění zdrojů rušení při PLC [25]

Zdroje rušení můžeme rozdělit na:

#### Šum na pozadí

Vzniká složením více zdrojů rušení s nízkou intenzitou. Parametry tohoto šumu jsou v čase proměnné. Popisujeme ho spektrální výkonovou hustotou PSD (power spectral density), která s vyšším kmitočtem klesá. Hodnoty jsou řádově od desítek  $Hz$  do  $20kHz$ . Na vyšších frekvencích jsou pouze nízké hodnoty PSD (bílý šum).

[25]

#### Impulsní rušení

Způsobeno zejména spínanými zdroji, tyristorovými regulátory nebo kolektorovými motory. Je charakteristické krátkými napěťovými špičkami o délce trvání od jednotek do stovek  $\mu s$  někdy i do  $ms$ . Tyto špičky běžně dosahují úrovně o  $10 dB$  PSD více než šum na pozadí. Rušivé špičky se opakují s periodou.

[25]

- Asynchronní (způsobeno spínacími prvky v distribuční síti)
- Synchronní (způsobeno napěťovými konvertory, stmívači)

### **Úzkopásmové rušení**

Je ve tvaru úzkých špiček s vysokou PSD. Na frekvencích do 150 *kHz* ho způsobují zejména spínané procesy, měniče frekvence a zářivky. Na vyšších frekvencích je způsobeno rozhlasovými stanicemi, které vysílají na středovlnném a krátkovlnném pásmu.

[25]

Zdroje rušení:

### **Spínané zdroje**

Dnes se využívají téměř všude ve spotřební elektronice (televize, audio systémy, počítače, adaptéry do zásuvky), toto rušení můžeme klasifikovat jako širokopásmové od 15 *kHz* do 1 *MHz*.

### **Tyristorové regulátory**

Využívají se k regulaci otáček, produkují velké impulsy 100 až 1200 *Hz*, ty obsahují celou řadu vyšších harmonických které ruší okolí.

### **Universální sériové motory**

Můžeme je najít v elektrických vrtačkách, domácích točivých spotřebičích jako jsou vysavače, mixéry, ruší prakticky v celém spektru protože frekvence rušení závisí na otáčkách.

### **Komunikace od dodavatele elektrické energie**

Nejedná se jen o klasickou datovou komunikaci ale i o hromadné dálkové ovládání způsobující rušení v síti.

## 4. Norma ČSN EN 50065

### Část 1.

#### Signalizace v instalacích nízkého napětí v kmitočtovém rozsahu 3kHz až 148,5 kHz.

Tato norma zahrnuje všeobecné požadavky, kmitočtová pásma a elektromagnetická rušení. Platí pro elektrické zařízení používající signály v kmitočtovém rozsahu 3kHz až 148,5kHz a které jsou určeny pro přenos informací nízkonapěťovými elektrickými systémy (veřejné rozvodné systémy, instalace v objektech odběratelů). Stanovuje kmitočtová pásma přidělená k různým aplikacím, meze koncového výstupního napětí v provozním pásmu a meze rušení šířeného vedením a vyzařovaného rušení. Také definuje přesné metody měření. Nestanovuje metody jak bude signál modulovaný nebo kódovaný.

[10]

Cílem této normy je omezení vzájemného ovlivňování mezi zařízeními pro přenos signálu v elektrických instalacích i k zamezení ovlivňování zařízení samotného.

[10]

### 4.1. Klasifikace kmitočtových pásem

#### Pásmo 3kHz až 95kHz

Použití kmitočtů v tomto pásmu se musí omezit pouze na dodavatele elektrické energie a jejich oprávnění.

#### Pásmo nad 95kHz až do 148,5kHz

Kmitočty v tomto pásmu se musí omezit pouze na odběratelské použití. Každé zařízení používané v tomto pásmu je navrženo ve třídě 122 nebo 134. Ve třídě 122 je vhodné pro všeobecné použití ale ve třídě 134 může vyžadovat souhlas příslušných orgánů.

#### Dílčí pásmo nad 95 kHz do 125 kHz

U tohoto dílčího pásma není vyžadován takzvaný protokol přístupu.

#### Dílčí pásmo nad 125 kHz do 140 kHz

Signalizace v tomto pásmu vyžaduje protokol přístupu.

#### Dílčí pásmo nad 140 kHz do 148,5 kHz

Použití tohoto dílčího pásma nevyžaduje protokol přístupu.

[10]

## 4.2. Protokol přístupu

### Obsah protokolu přístupu

Používá se v kmitočtovém dílčím pásmu 125kHz až 140kHz pro umožnění provozu různých systémů na stejných nebo elektricky připojených napájecích sítích. Tyto systémy mohou používat stejné nebo odlišné komunikační protokoly, ale musí použít protokol přístupu. Signály vysílané systémy které pracují v tomto pásmu musí mít definované spektrální rozložení a musí mít definovanou maximální dobu trvání, aby bylo možné je detekovat jinými zařízeními na této síti. Tento charakteristický signál slouží pro indikaci v síti, že se dílčí pásmo právě používá. Tento stav se nazývá „používané pásmo“. Ostatní zařízení nemohou vysílat a čekají na uvolnění pásma na minimální časový úsek. Pro zajištění vícenásobného přístupu zařízení, která čekají na vysílání, náhodně generují pokusy o vysílání v časovém intervalu pro omezení střetu mezi dvěma nebo více vysíláními. Nejmodernější vysílací zařízení vyčkávají konce tohoto časového intervalu před dalším pokusem o vysílání.

[10]

### Signalizace v používaném pásmu

Každé zařízení musí používat kmitočet 132,5 kHz k upozornění že vysílání pokračuje. Signál musí mít správné spektrum aby byl možný detekovat.

[10]

### Stav v používaném pásmu

Všechna zařízení musí být vybaveny signálním detektorem, který indikuje že dílčí pásmo se právě používá. Pásmo je využíváno když jakýkoliv signál s efektivní hodnotou dosahuje nejméně 86 dB ( $\mu V$ ) při kmitočtu 131,5 kHz po dobu nejméně 4 ms. Před každým vysíláním je nutno použít indikaci zda je dílčí pásmo volné. V časovém intervalu 1,1s musí výstup detektoru signálu zareagovat do 80 ms.

[10]

### Přípustné použití dílčího pásma

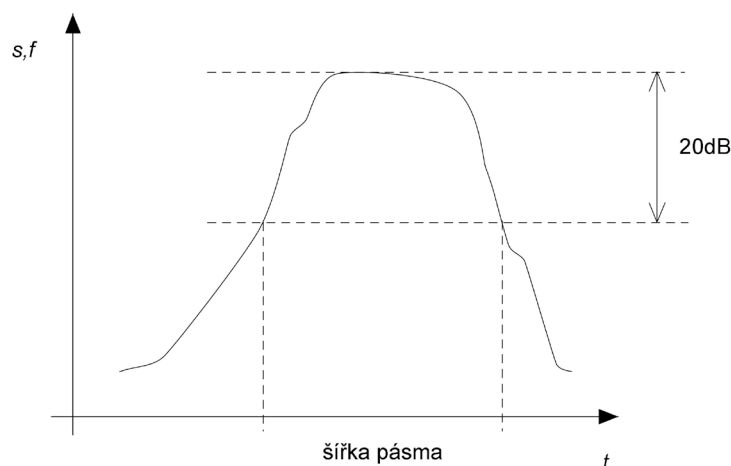
Za vysílání se považuje řada signálu bez mezery větší jak 80 ms. Vysílač nesmí překročit dobu vysílání 1 s. Po skončení vysílání musí čekat nejméně 125 ms než může opět vysílat.

[10]

## 4.3. Výstupní napětí vysílače

Nesmí se použít injektování v nesymetrickém režimu. Při měření v kmitočtovém rozsahu 9 kHz až 150 kHz musíme měřit výstupní napětí pouze s použitím umělé napájecí sítě podle CISPR16-1:1993, 11.2. Při měření výstupního signálu určujeme šířku pásma a výstupní úroveň. Šířka spektra je délka intervalu kde všechny kmitočty jsou o 20 dB pod maximální spektrální čarou.

[10]



Obrázek 12 – šířka spektra [10]

#### Měření výstupní úrovně pro jednofázová zařízení, dílčí pásmo 3kHz až 9kHz

Výstupní úroveň měříme po dobu 1 minuty v místě připojení fáze nebo nulového vodiče. Pro dílčí pásmo 3 kHz až 9 kHz se musí použít umělá napájecí síť  $50 \Omega / 50 \mu H + 1,6 \Omega$ . Výstupní úroveň nesmí překročit 134 dB ( $\mu V$ ).

[10]

#### Dílčí pásmo nad 9kHz až do 95kHz

Pokud je šířka pásma menší jak 5kHz můžeme tento signál považovat za úzkopásmový. Pokud je šířka pásma rovna nebo větší jak 5kHz hodnotí se jako širokopásmový a musíme ho měřit jinou metodou.

[10]

##### a) Úzkopásmový

Měřená úroveň nesmí překročit 134 dB( $\mu V$ ), při 9 kHz lineárně klesající logaritmem kmitočtu na 120 dB( $\mu V$ ) při 95kHz

##### b) Širokopásmový

Měřená úroveň nesmí překročit 134 dB( $\mu V$ )

[10]

Pokud se signál měří detektorem vrcholové hodnoty s šířkou pásma 200Hz, nesmí překročit žádná část spektra signálu 120 dB( $\mu V$ ).

[10]

#### Pásmo nad 95 kHz až do 148,5 kHz

Zde pro zařízení podle třídy 122 nesmí výstupní úroveň překročit 122 dB( $\mu V$ ) a pro zařízení třídy 134 nesmí být úroveň větší jak 134 dB( $\mu V$ ).

[10]

#### 4.4. Meze rušení

Při měření rušení musí měřicí přijímač odpovídat CISPR 16-1:1993 pro kmitočtové pásmo 9 kHz až 30 MHz. Meze jsou navoleny tak, aby odpovídaly mezím na ochranu radiokomunikačních služeb.

[10]

##### Rušení šířená vedením

3 kHz až 9 kHz – vrcholová hodnota není větší než 89 dB ( $\mu V$ )

9 kHz až 150 kHz – vrcholová hodnota klesá lineárně s logaritmem kmitočtu z 89 dB ( $\mu V$ ) na 66 dB ( $\mu V$ )

Rozsah nad 150 kHz až do 30 MHz

[10]

Tabulka 2 – meze rušivého napětí na síťových svorkách 0,15 až 30 MHz [10]

Kmitočtový rozsah MHz	Meze dB ( $\mu V$ )	
	Kvazivrcholové	Střední
0,15 až 0,5	66 až 56	56 až 46
0,5 až 5	56	46
3 až 30	60	50

Tabulka 3 – meze vyzařované intenzity pole [10]

Kmitočtový rozsah MHz	Kvazivrcholová meze dB ( $\mu V/m$ )
30 až 230	30
230 až 1000	37

Tabulka 4 – meze výkonu rušení [10]

Kmitočtový rozsah MHz	Kvazivrcholová hodnota dB (pW)	Střední hodnota dB (pW)
30 až 300	45 až 55	35 až 45
300 až 1000	55	45

## Část 2.

### Signalizace v instalacích nízkého napětí v kmitočtovém rozsahu 3 až 148,5 kHz.

Tato norma se vztahuje pro elektrická zařízení používající signály v rozsahu 95 kHz až 148,5 kHz k vysílání nebo příjmu informací o elektrických systémech nízkého napětí. Platí pro obytné prostory i lehký průmysl. Tato norma má za úkol omezit vzájemné ovlivňování mezi síťovými komunikačními zařízeními a systémy pracující na různých frekvencích definovaných v EN50065-1 a zajistit elektromagnetickou kompatibilitu.

[19]

Tato norma specifikuje základní požadavky na odolnost a metody měření které se provádějí při typovém zkoušení nízkého napětí a požadavky elektromagnetické interference. Dále specifikuje požadavky k přechodným i trvalým rušením při šíření vedením, vyzařovaným a elektrostatickým výbojům.

[19]

Norma ale nespecifikuje odolnost mezi síťovými komunikačními zařízeními, které pracují ve stejném pásmu nebo proti signálům z nosných systémů na silových vedeních.

[19]

### Funkční kritéria

- a. Systém pracuje určeným způsobem (vysílání, příjem) v mezích podle výrobce, nepřipouští se žádná změna stávajícího stavu nebo uložených dat.
- b. Během rušení může dojít k dočasnému zhoršení nebo ztráty funkce za předpokladu, že zařízení po skončení rušení automaticky obnoví normální provoz.
- c. Během rušení může dojít k dočasnému zhoršení nebo ztráty funkce což vyžaduje ruční zásah nebo znovu nastavení systému před obnovením normálního provozu, není přípustná žádná ztráta uložených dat.

[19]

Elektrické napájecí sítě jsou velmi nepříznivým komunikačním médiem a mnoho zařízení pracuje na vyšší úrovni. Podle protokolových služeb umožňují obnovu dat poškozených interferencí nebo když jsou data poškozeny zajistí opakované vysílání.

[19]

### Úzkopásmová interference šířená vedením

Může být vyvolána zařízeními pracujícími v různých kmitočtových pásmech podle definice v EN 50065-1 nebo rušeními mimo pásmo na kmitočtech vyšších než 148,5 kHz.

Zkouška této interference se provádí na různých diskretních kmitočtech v pásmu od 3 - 30 MHz kromě pásma kde pracují signalizační zařízení. Zdroj signálu (jednotlivé diskretní kmitočty) je amplitudově modulován na 1000 Hz s hloubkou 80 %. Čistota signálu má být taková že jednotlivé harmonické a subharmonické nesmí překročit hranici 80 dB ( $\mu V$ ).

[19]

### **Úzkopásmová interference šířená přímým připojením**

#### **Část 4.**

#### **Signalizace v instalacích nízkého napětí v kmitočtovém rozsahu 3 až 148,5 kHz – oddělovací filtry nízkého napětí.**

Přestože jsou elektrické sítě problematickým médiem pro přenos dat jsou považovány za důležité pro automatizaci bytových a domovních systémů. Tato norma se zabývá zabráněním nežádoucí interference do síťových komunikačních zařízení. Na veřejné rozvodné síti nebo na instalacích v objektech se použije zařízení zvané „oddělovací filtr“. Norma platí pro oddělovací filtry nízkého napětí v kmitočtovém rozsahu 3 až 148,5 kHz. Neplatí pro univerzální filtry pro potlačení EMI nebo pro filtry vestavěné do domácích spotřebičů.

[20]

Použití:

- Pro omezení oblasti přenosu užitečných signálů na oblast, v níž pracuje síťový komunikační systém
- Omezení nežádoucích signálů přicházejících z druhé strany síťových svorek
- Umožnění současné komunikace na obou stranách filtru
- Nastavení vhodné impedance na síťových svorkách při signalizačním kmitočtu
- Zajištění zpětné cesty pro signál v případě potřeby

[20]

#### **Impedance oddělovacího filtru**

Pro dodavatelskou stranu se test provádí od 3 kHz do 95 kHz

Pro odběratelskou stranu od 95 kHz do 148,5 kHz

[20]

#### **Přenosová funkce**

Vztah pro výpočet přenosové funkce (útlum)

$$|H(f)|(dB) = 20 \log(V_0 / V_1)$$

[20]



## 5. Modulace

Modulace je nelineární proces kterým se mění charakter nosného signálu pomocí modulačního signálu. Aby bylo možné provést modulaci musí být v modulačním řetězci obsažen nelineární prvek. Toto platí i naopak, jakmile se setkají dva signály na nelineárním prvku dochází k jejich modulaci.

[8]

**Modulační signál**  $m(t)$  – signál který chceme modulovat na nosný signál (obsahuje informaci)

**Nosný signál** – signál který modulujeme modulačním signálem

**Modulovaný signál**  $v(t)$  – výsledek po modulaci (pásmový signál)

[8]

### 5.1. Pásmový signál

Signál přenášející informace, který má nenulovou spektrální hustotu pouze v určitém frekvenčním pásmu v blízkosti frekvence  $f_c$ , kde  $f_c \gg 0$  se nazývá pásmový signál  $v(t)$ . Do množiny pásmových signálů patří i modulovaný signál  $s(t)$ .

[9]

$$v(t) = \operatorname{Re}\{g(t)e^{j\omega_c t}\}$$

[9]

$\omega_c$  - úhlová frekvence nosného vysokofrekvenčního signálu

$g(t)$  - komplexní obálka

$$g(t) = g[m(t)]$$

[9]

Funkce  $g$  definuje modulaci nízkofrekvenčního signálu  $m(t)$ .

### 5.2. Modulační rychlost

Vyplývá z jednoduché otázky jak často můžeme měnit průběh přenášeného signálu neboli jak často můžeme hýbat s parametry přenášeného signálu, který pomocí modulace měníme. Omezujícím kritériem je schopnost detekce těchto změn u příjemce. Modulační rychlost (Baudrate) tedy vyjadřuje počet změn za sekundu. Jednotkou je Baud ( $Bd$ ).

[26]

Jednoduchý vztah pro výpočet modulační rychlosti vyplývá z Nyquistova kritéria, které nám říká, že nemá smysl vzorkovat signál rychleji než dvakrát za jeho periodu.

[26]

$$V_{\text{modulační}} = 2 * \text{šířka pásma}$$

[26]

Maximální dosažitelná modulační rychlost závisí pouze na dostupné šířce přenosového pásma a nikoli na použité modulaci.

[26]

### 5.3. Přenosová rychlost

Modulační rychlost v Baudech nám neposkytuje objektivní představu o schopnosti přenosové cesty přenášet data. Přenosová rychlost udává kolik různých alternativ představuje jedna změna modulační rychlosti. Pokud při každé změně volíme jednu binární číslici pak platí co změna to *1 bit*. Obecně pak platí, že počet bitů reprezentovaných („nesených“) jednou změnou přenášeného signálu je dvojkový logaritmus počtu možných stavů (možností).

[26]

$$V_{\text{přenosová}} = V_{\text{modulační}} * \log_2(n)$$

[26]

**Přenosová rychlost [bit/s]** – udává množství dat přenesených za jednotku času

[26]

### 5.4. Základní rozdělení modulací

#### Analogové

- Amplitudová AM
- Amplitudová dvoustranná DSB-SC
- Amplitudová jednostranná SSB-SC
- Úhlová fázová PM
- Úhlová frekvenční FM
- Kvadraturní QM

[9]

#### Digitální v základním frekvenčním pásmu

- Impulsní amplitudová PAM
- Impulsní kódová PCM
- Ostatní

[9]

### Digitální modulace pásmového signálu

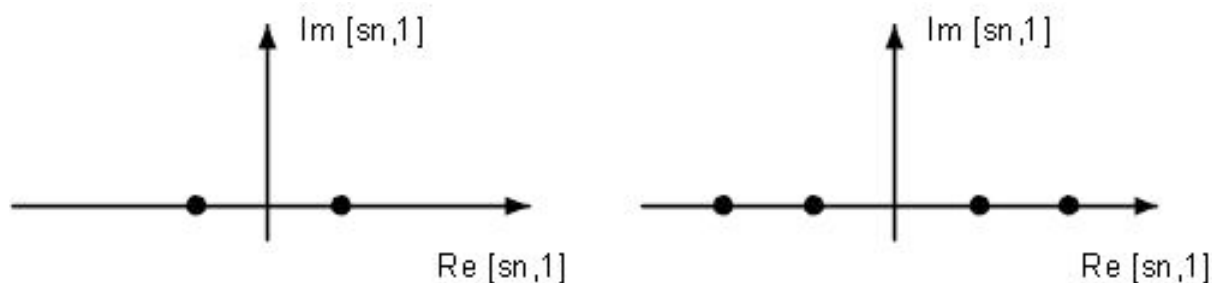
- ON-OFF klíčování OOK
- Amplitudové klíčování ASK
- Fázové klíčování PSK
- Frekvenční klíčování FSK
- Kvadrurní amplitudové klíčování QAM
- Ortogonální frekvenční klíčování OFDM

[9]

### 5.5. Amplitudové klíčování ASK modulace

Lineární digitální modulace ASK je založena na klíčování binárních i více-stavových digitálních signálů. Pásmový digitálně modulovaný signál ASK modulací má odlišnou reprezentaci logické 0 od logické 1 ale není nulová. Tato modulace se používá kdy modulační signál  $m(t)$  je polární NRZ, RZ nebo Manchester kódovaný digitální signál v základním pásmu. Kanálové symboly jsou symetrické a leží na reálné ose. Pomocí ASK lze modulovat binární data 2-ASK, nebo více stavů 4-ASK, 8-ASK až M-ASK. V případě většího počtu datových symbolů je z energetických důvodů tato modulace nevýhodná.

[9]



Obrázek 13 – konstelace 2-ASK a 4-ASK [9]

### 5.6. Frekvenční klíčování FSK modulace

Nelineární digitální modulace FSK slouží pro klíčování binárních i více-stavových digitálních signálů. Pásmový digitálně modulovaný signál FSK modulací je řízen frekvencí signálu v základním pásmu. Amplitudová modulační složka komplexní obálky je konstantní a mění se pouze frekvence. Jednotlivé frekvence jsou v daných úsecích konstantní a odpovídají jednotlivým datovým hodnotám. FSK je identická s FM modulací digitálního signálu.

[9]

## 5.7. Fázové klíčování PSK modulace

Lineární digitální modulace PSK slouží pro klíčování binárních i více-stavových digitálních signálů. Pásmový digitálně modulovaný signál PSK modulací je nejpoužívanějším případem modulace digitálního signálu v základním pásmu. Založena na změně fáze vektoru signálového bodu v konstelaci modulace. Skládá se z množiny kanálových symbolů  $q_n$  který se rovná počtu datových symbolů  $d_n$ .

[9]

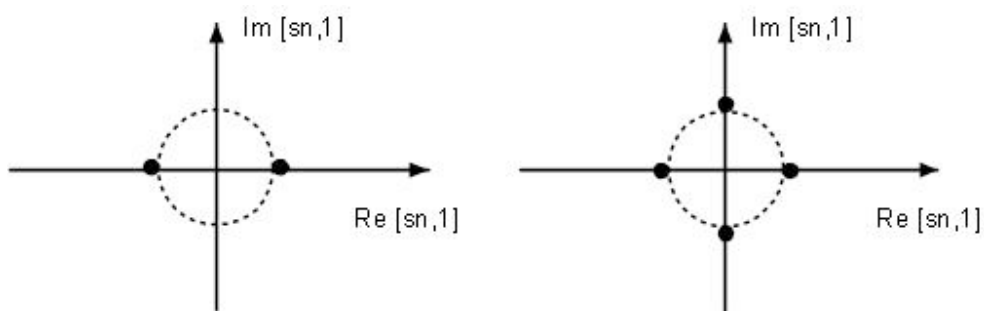
$$|d_n|^2 = 1$$

[9]

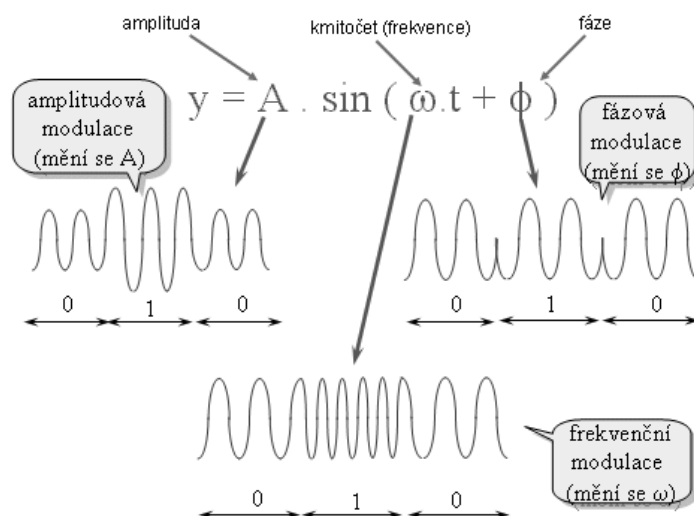
Kanálové symboly PSK modulace mají konstantní energii. BPSK je modulace pro binární signály.

$$v(t) = A_c \cdot m(t) \cdot \cos(\omega_c \cdot t + D_p \cdot m(t))$$

[9]



Obrázek 14 – konstelace 2-PSK a 4-PSK [9]



Obrázek 15 – ASK,FSK a PSK modulace harmonického signálu [9]

## 5.8. Ortogonální frekvenční klíčování OFDM

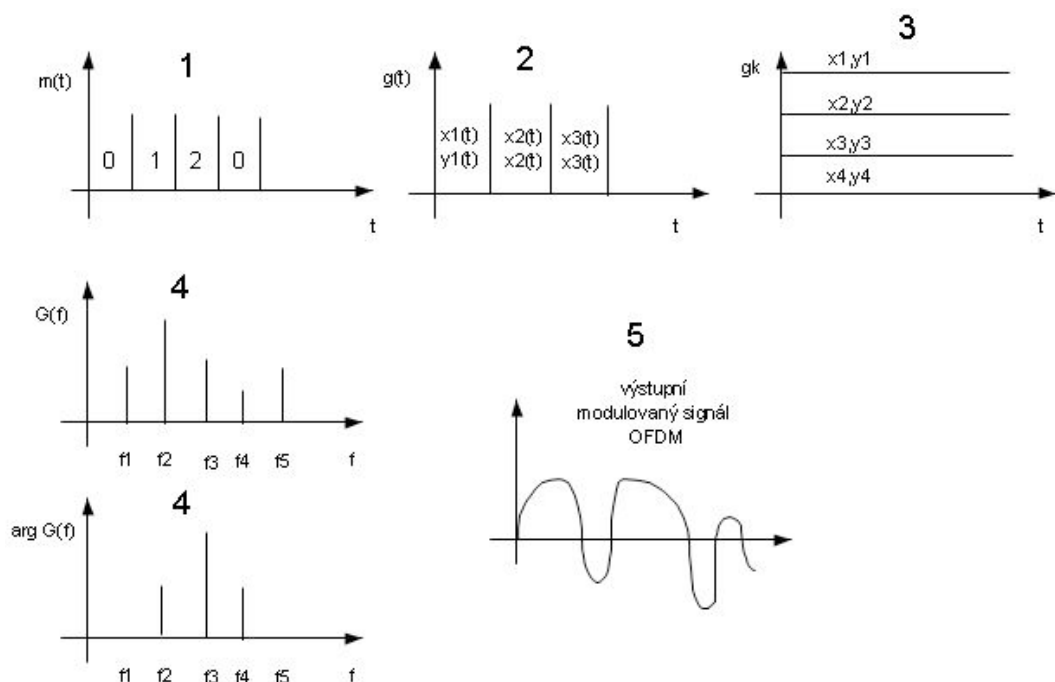
OFDM modulace (ortogonálně frekvenčně dělený multiplex) je založena na principu vytvoření velkého počtu subnosných frekvencí, na který se v jednom časovém intervalu nalézá datová posloupnost jednotlivých datových symbolů reprezentovaných komplexní obálkou. Tyto datové symboly jsou již vytvořeny jinou digitální modulací. Signály na jednotlivých subnosných jsou vzájemně ortogonální to znamená, že jejich skalární součin je roven nule. OFDM využívá nízkou modulační rychlost, protože přenáší data paralelně. Tím je zajištěna vysoká odolnost proti interferenci mezi kanálovými symboly.

[9]

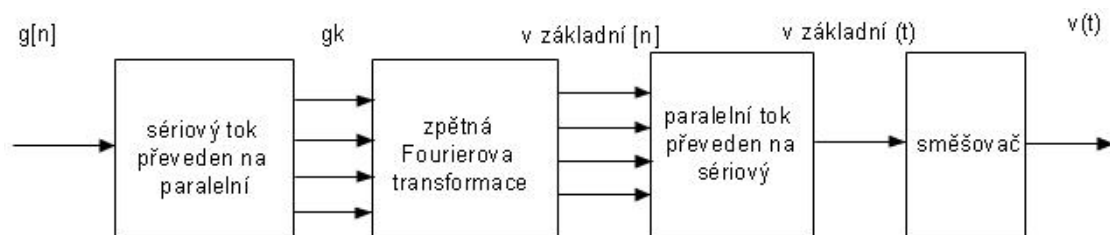
### Princip OFDM

Vstupní datový tok je nejprve modulován některou z ostatních lineárních modulací bez vysokofrekvenční složky. Výstupem je teda komplexní obálka  $g[n]$  modulačního signálu  $m[n]$ . Tyto datové symboly jsou převedeny ze sériového na paralelní tok. Po načtení skupiny seřazených paralelních dat jsou vložena na subnosné frekvence. Každý datový symbol je reprezentovaný amplitudovou a fázovou frekvenční složkou harmonického signálu na subnosné frekvenci. Ve frekvenčním spektru jsou datové symboly následně převedeny zpětnou Fourierovou transformací. Získaný signál obsahuje počet subnosných v časové oblasti. Nyní se signál převede z diskrétní oblasti na spojitý analogový signál, který je přesunut na frekvenci nosné. Výsledkem je vysokofrekvenční pásmový signál  $v(t)$ .

[9]



Obrázek 16 – schématické znázornění OFDM [9]



Obrázek 17 – blokové schéma modulátoru OFDM [9]

## 5.9. Výběr modulace pro Power line komunikaci

Pro Power line komunikaci se nejčastěji používají výše rozebrané modulační metody mezi které patří ASK, FSK, PSK a také OFDM. Vyplyná to z dostupných PLC modemů které můžeme běžně nalézt na trhu. Z vlastností jednotlivých modulací je zřejmé, že nejspolehlivějším řešením je použití OFDM PLC modemu, který ovšem nebude zcela jistě tou nejlevnější variantou. Tento modem by byl určitě vhodný pro přenášení velkých objemů dat s požadavkem minimální chybovosti a velké přenosové rychlosti například pro sdílení internetu. Další variantou je ASK PLC modem, kde zcela jistě dochází při přenosu k nejvíce chybám. Asi nejlepším kompromisem se zdá FSK PLC modem kombinovaný s PSK modulací.

Požadavky na vhodný PLC modem pro tuto práci jsou však velmi malé. Zde se budou pouze přenášet povely pro zapnutí nebo vypnutí daného zařízení. Vzhledem k této jednoduchosti dat můžeme použít ASK PLC modem. Tyto modemy disponují výhodnou cenou a dostupností s minimální potřebou externích součástek.

## **6. Návrh vlastního zařízení pro prioritní řízení spotřebičů**

### **6.1. Popis zařízení**

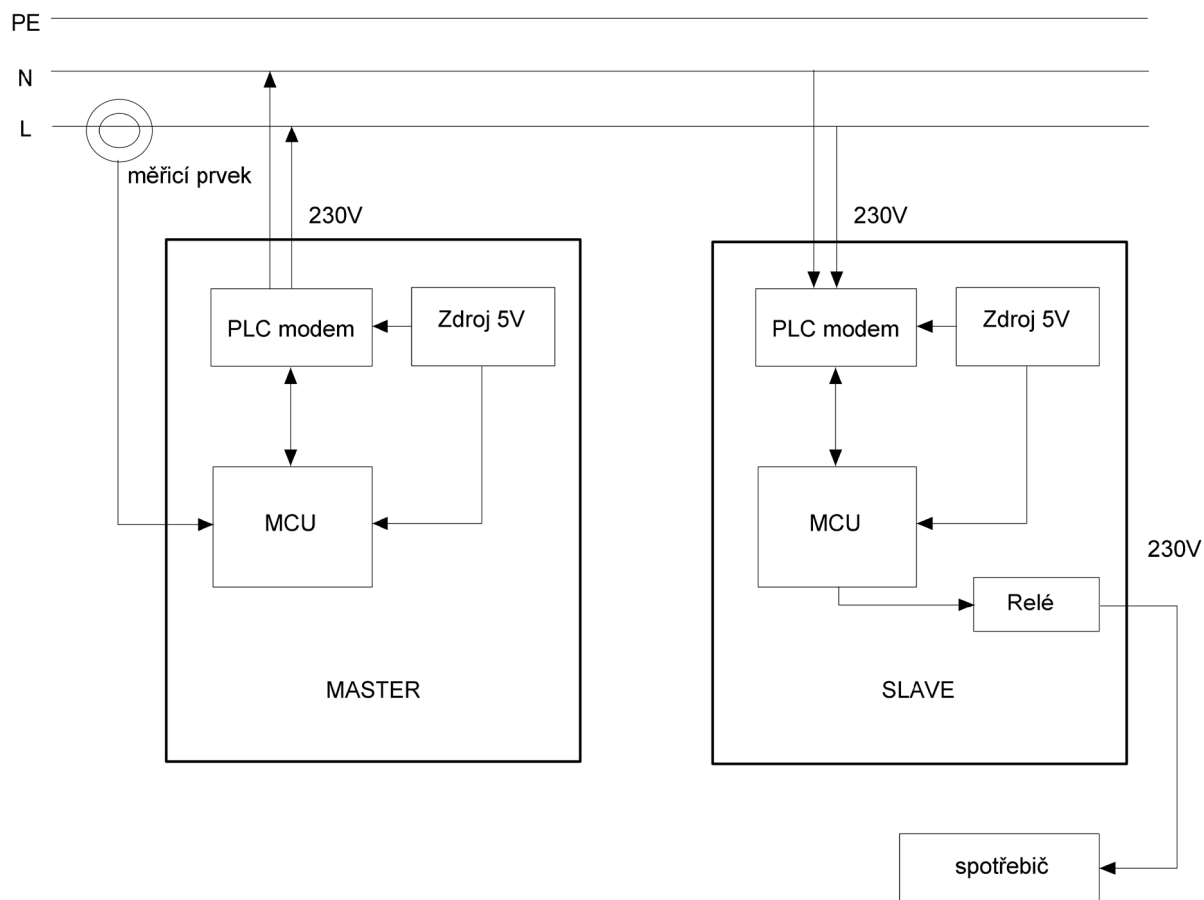
Vlastní zařízení se bude skládat z hlavní jednotky (MASTER) a dalších jednotek (SLAVE). V této práci budou pro demonstraci prioritního spínání sestaveny pouze dvě jednotky slave .

Master jednotka bude připojena k síti 230V, bude trvale měřit odběr proudu a v případě překročení limitu vyše příkaz k odpojení jednotky slave s nejnižší prioritou. Ta následně potvrdí, že se tak stalo. Při stále velkém odběru nad limit vyše opět příkaz pro odpojení další jednotky slave s vyšší prioritou až do doby, kdy nebude limit překročen. Každé jednotce slave je tedy přiřazena jedinečná priorita. Poté master čeká na změnu hodnoty odběru, kdy jeden ze spotřebičů bude vypnut. Při snížení vyše příkaz k připojení jednotky slave s nejvyšší možnou prioritou. Jednotky slave tedy budou trvale přijímat příkazy a vyhodnocovat jestli mohou spotřebič připojit nebo odpojit.

Slave jednotky budou připojeny běžnou síťovou zástrčkou do zásuvky 230V a budou také obsahovat zásuvku 230V pro připojení spotřebiče. Budou tvořit mezičlánek mezi připojením spotřebiče do zásuvky 230V. Nebudou obsahovat žádné uživatelské vstupy a výstupy jako jsou tlačítka nebo zobrazovače.

Základem každé jednotky (master i slave ) bude Power line komunikační modem a mikrokontrolér (MCU). Jednotka master bude obsahovat měřicí prvek pro měření proudového odběru. Jednotka slave pak spínací prvek pro 230 V. Vše bude řídit MCU a komunikovat s PLC modemem po sériovém rozhraní UART. Napájení všech zařízení bude provedeno ze sítě 230 V.





Obrázek 18 – blokové schéma zařízení

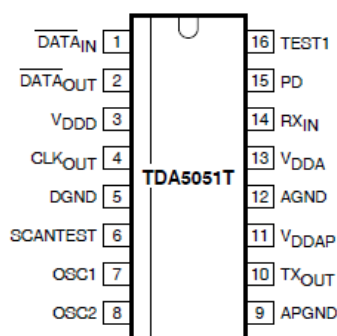
## 6.2. Výběr komponentů

### 6.2.1. PLC modem

V této práci byla pro komunikaci po síťovém vedení zvolena ASK modulace. Jedním asi z nejběžnějších, nejpoužívanějších a nejdostupnějších PLC modemů je obvod **TDA5051**. Je vyráběný pouze v provedení SMD a je určen zejména pro domácí ovládání elektrospotřebičů (klimatizace, osvětlení, žaluzie, alarmy a vytápění). Digitálně generuje a tvaruje nosnou. Frekvence modulace je určena buď vnějším hodinovým signálem z mikrokontroléru nebo pomocí vnitřního oscilátoru s připojeným krystalem. Obsahuje 6-bitový A/D převodník pro zamezení aliasingu a ochranu proti přetížení. K přenosu dat využívá ASK modulaci po domácí elektrické síti při datovém toku 600 nebo 1200 *Bd/s*.

Tabulka 5 – Stručné parametry obvodu TDA5051 [11]

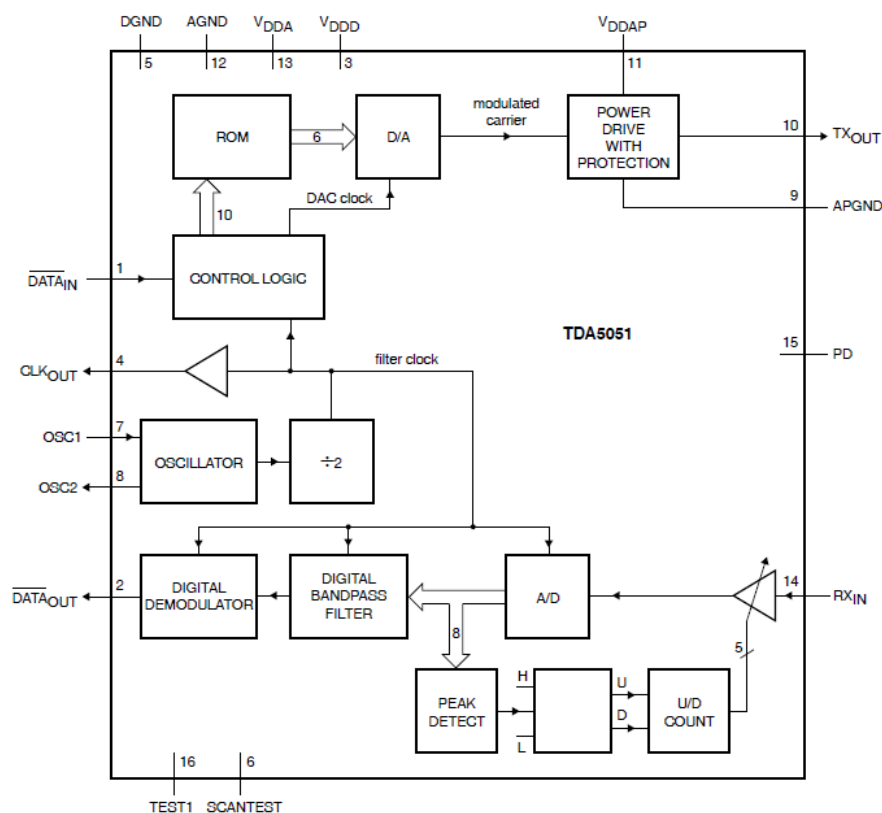
SYMBOL	PARAMETR	MIN.	TYP.	MAX.	JEDNOTKA
$V_{dd}$	Napájecí napětí	4,75	5,0	5,25	V
$I_{dd}$	Celkový proud	-	28	38	mA
$T_{amb}$	Pracovní teplota	0	-	70	°C
$f_{cr}$	Frekvence nosné	95	132,5	148,5	kHz
$f_{osc}$	Frekvence oscilátoru	6,08	8,48	9,504	MHz
$V_o$	Výstupní signál	120	-	122	dB $\mu$ V
$V_i$	Vstupní signál	66	-	122	dB $\mu$ V
THD	Harmonické zkreslení	-	-55	-	dB
$Z_L$	Zatěžovací impedance	1	30	-	$\Omega$
BR	Datový tok	-	600	1200	bit/s



Obrázek 19 – označení vývodů obvodu TDA5051 [11]

Tabulka 6 – význam vývodů obvodu TDA5051 [11]

SYMBOL	PIN	POPIS
DATA in	1	Vstup digitálních dat
DATA out	2	Výstup digitálních dat
$V_{DDD}$	3	Napájecí napětí digital
CLKout	4	Výstup hodin
DGND	5	ZEM digital
SCANTEST	6	Test vstupu
OSC1	7	Vstup oscilátor
OSC2	8	Výstup oscilátor
APGND	9	ZEM pro zesilovač
TXout	10	Výstup signálu
$V_{DDAP}$	11	Napájecí napětí pro zesilovač
AGND	12	ZEM analog
$V_{DDA}$	13	Napájecí napětí analog
$RX_{IN}$	14	Vstup signálu
PD	15	Vypínací vstup
TEST1	16	Test vstupu



Obrázek 20 – blokové schéma obvodu TDA5051 [11]

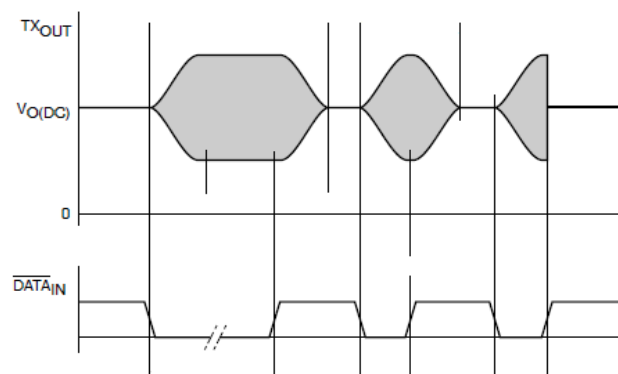
### Popis funkce

Na vstup  $DATA_{IN}$  jsou přivedena data z mikrokontroléru. Tento vstup je trvale v logické 1. Na výstupu  $TX_{OUT}$  je vygenerován „burst“ když je na vstupu  $DATA_{IN}$  logická 0. Více popisuje obrázek 21. Vstup  $DATA_{IN}$  je přizpůsoben pro obvody TTL i pro CMOS. Vstupní data jsou modulována ASK modulací kde frekvence nosné je určena z mikrokontroléru nebo pomocí vnitřního oscilátoru.

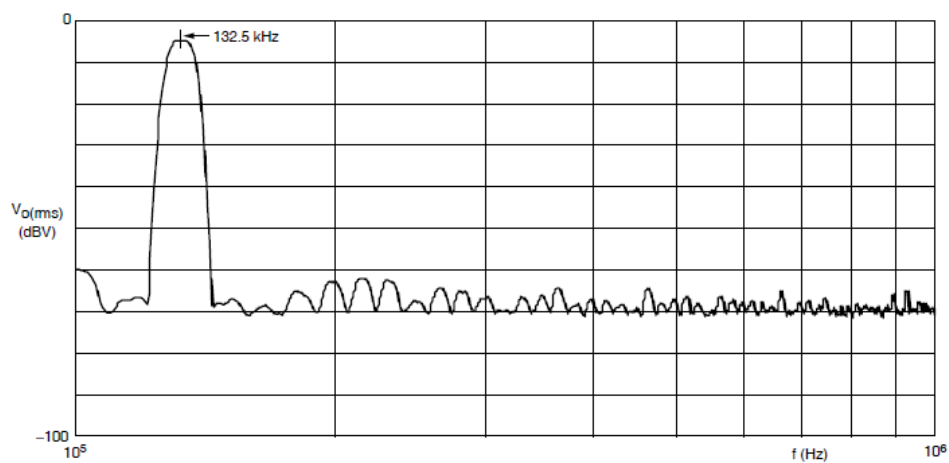
[11]

Pro příjem je situace stejná. Na vstup  $RX_{IN}$  je přiveden analogový modulovaný signál a po následné demodulaci jsou data na výstupu  $DATA_{OUT}$ .

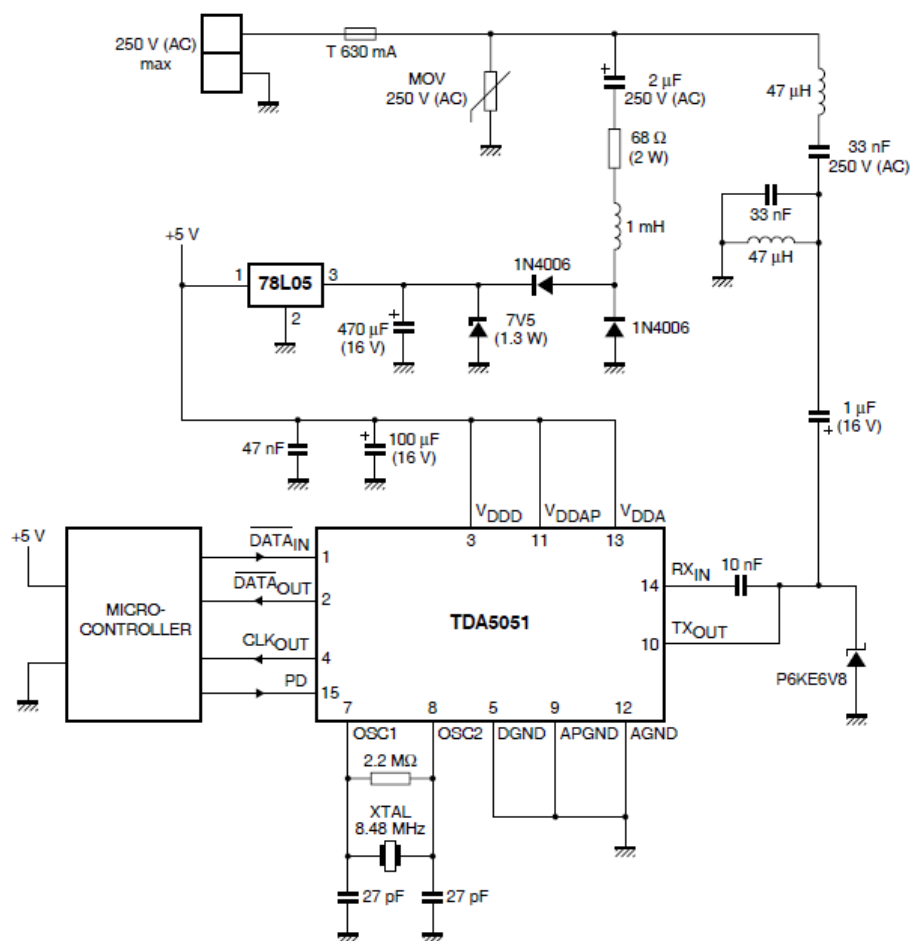
[11]



Obrázek 21 – modulovaný signál ASK modulací [11]



Obrázek 22 – spektrum nosné 132,5 kHz [11]



Obrázek 23 – schéma připojení TDA5051 na síť 230 V [11]

Schéma na obrázku 23 je uvedené v katalogovém listu obvodu TDA5051 a zobrazuje přímé připojení obvodu bez izolačního oddělení na síť 230 V. Obsahuje i jednoduchý stabilizovaný zdroj napětí 5 V.

### 6.2.2. Mikrokontrolér

Výběr mikrokontroléru závisí především na vývojovém prostředí, kde bude sestaven program pro jeho funkci. Z tohoto důvodu byly zvoleny mcu firmy Microchip řady PIC16F.

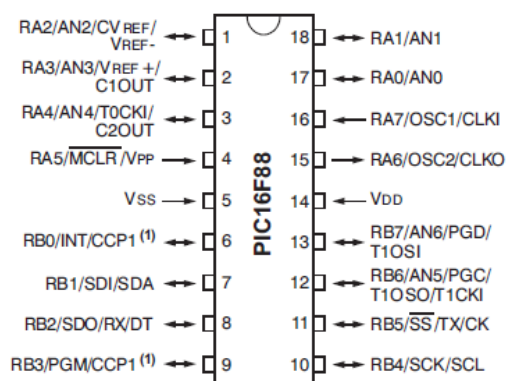
Pro jednotky Slave byl vybrán mikrokontrolér PIC16F628, který můžeme nalézt v mnoha aplikacích, je běžně dostupný za velmi příznivou cenu. Nevýhoda je že neobsahuje A/D převodníky proto pro jednotku Master, kde bude zapotřebí měřit odebíraný proud byl vybrán PIC16F88. Oba tyto mcu mají stejná pouzdra se stejným počtem vývodů, PIC16F88 má navíc A/D převodníky a větší flash paměť.

## PIC16F88

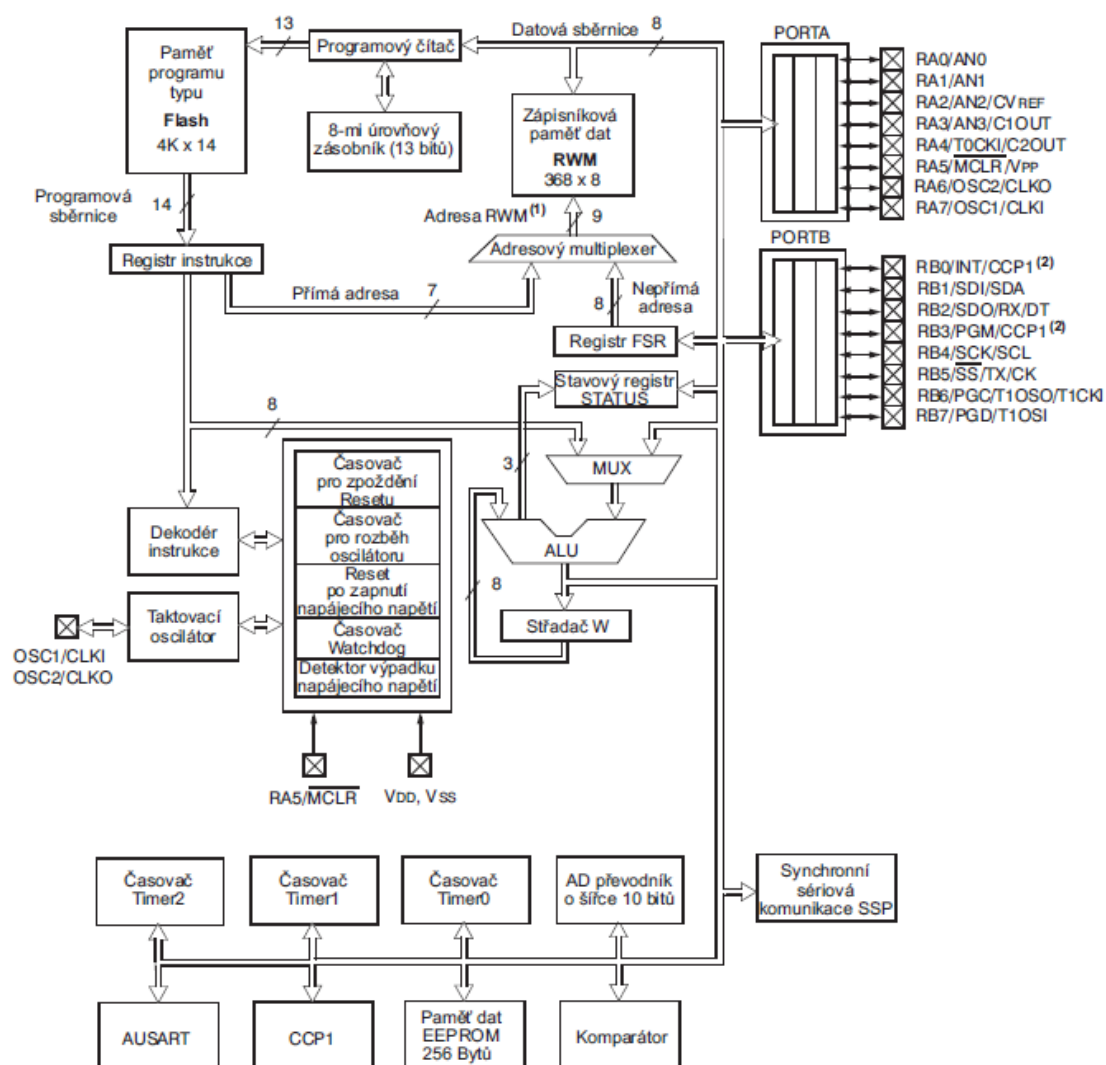
8-bitový mikrokontrolér s technologií nanoWatt

- Režimy s nízkou spotřebou
- Vnitřní oscilátor můžeme programově nastavit
- Proudová spotřeba modulu čítače, časovače je kolem  $1,8 \mu A$
- Nastavitelná doba přetečení u časovače Watchdog
- Modul AD převodníku obsahuje registr ANSEL pro konfiguraci vývodů

[27]



Obrázek 24 – popis vývodů [27]



Obrázek 25 – blokové schéma PIC16F88 [27]

## PIC16F628

8-bitový mikrokontrolér s technologií nanoWatt

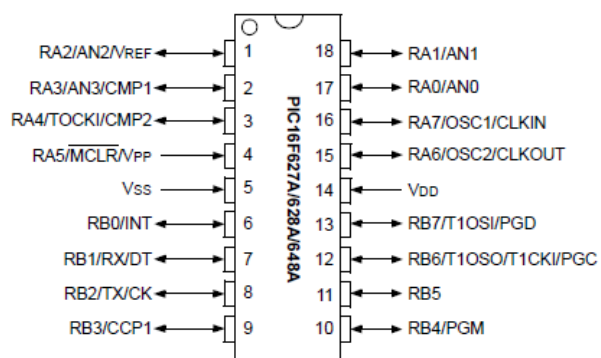
- Frekvence do 20 MHz
- Úsporný režim spánku
- Watchdog časovač s nezávislým oscilátorem
- Nízké programovací napětí

[28]

#### Funkce periférií

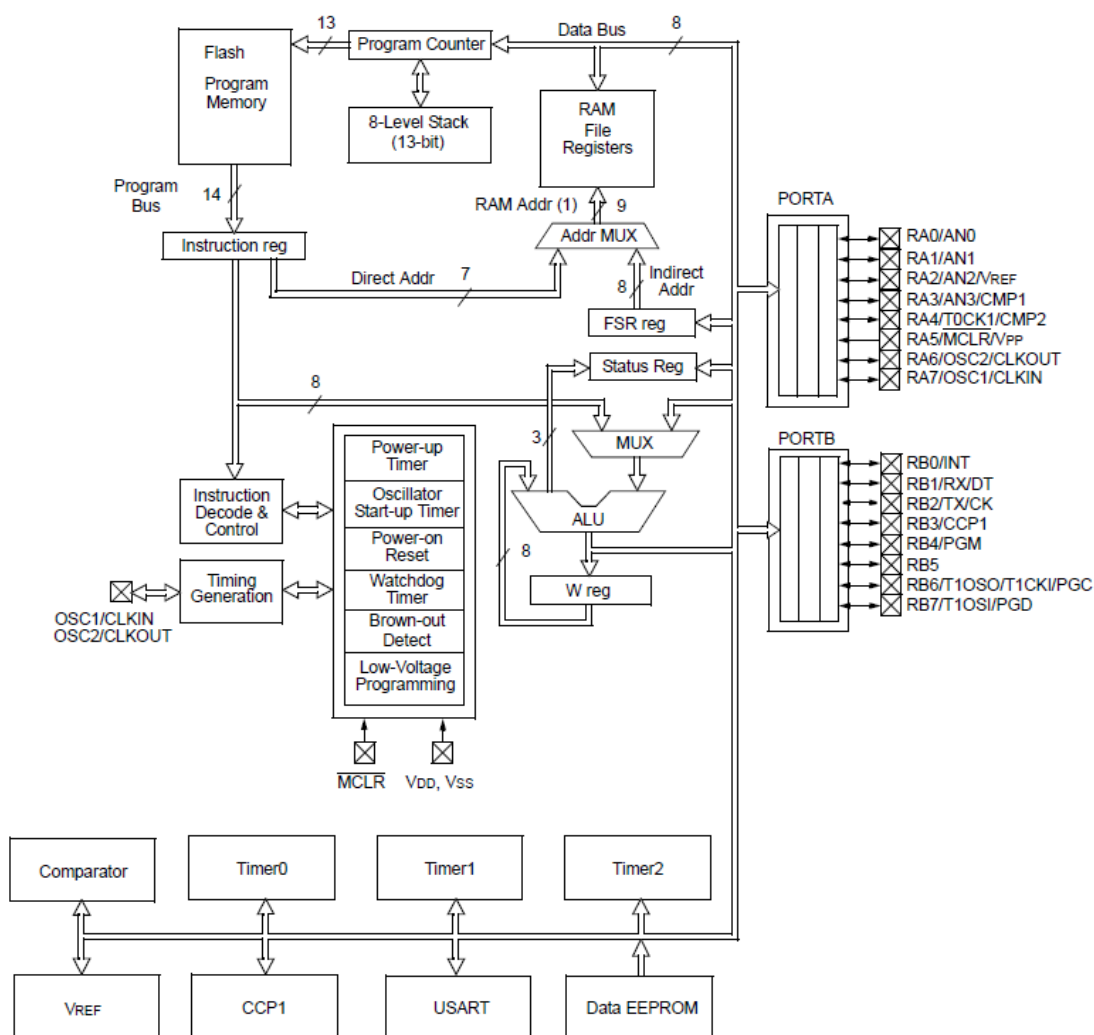
- 16 konfigurovatelných I/O
- 2 analogové komparátory
- 3 časovače
- 10-bitový PWM modul
- USART/SCI

[28]



Obrázek 26 – popis vývodů [28]





Obrázek 27 – blokové schéma PIC16F628 [28]

### 6.2.3. Napájecí zdroj

Vzhledem k tomu že zařízení budou připojena na síť 230 V je téměř nezbytné, aby napájení bylo vyřešeno z této sítě. V katalogovém listu PLC modemu TDA5051 je schéma připojení obvodu na napájecí síť včetně konstrukce stabilizovaného napájecího zdroje 5V. Po vyčíslení všech komponentů pro sestavení tohoto stabilizovaného zdroje cena převyšuje cenu běžného AC/DC měniče z 230 V na 5 V do DPS. Tento zdroj bude napájet jak obvod TDA5051 tak i mikrokontrolér v každé jednotce.

## AC/DC měnič Myrra

AC/DC měniče Myrra jsou zapouzdřené spínané zdroje, představují zajímavou alternativu pro napájení běžných aplikací s výkonem menším jak  $5\text{ W}$ . Dále nachází využití jako DC/DC měniče v telekomunikaci, v průmyslové, domácí a spotřební technice. Vyznačují se vysokou účinností a tedy i nízkou spotřebou energie.

Obsahuje:

- $50\text{ Hz}$  transformátor
- Pojistka
- Můstkový usměrňovač
- Filtrační kondenzátor

[22]

Elektrické parametry:

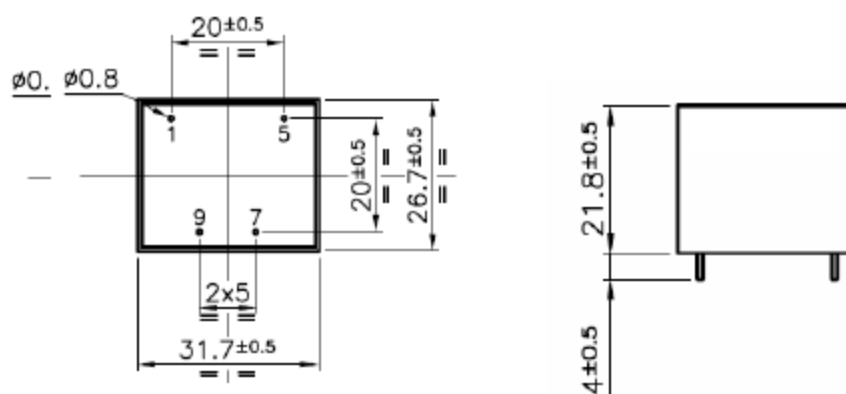
- Vstupní napětí  $85$  až  $265\text{ V AC}$ ,  $85$  až  $370\text{ V DC}$
- Vstupní kmitočet  $47 - 440\text{ Hz}$
- Výstupní napětí  $5\text{ V}$
- Výstupní napětí při zátěži  $\pm 0,5\%$
- Výstupní proud  $550\text{ mA}$
- Příkon naprázdno  $< 200\text{ mW}$

[22]

Ostatní:

- Provozní teplota  $25^\circ\text{ C}$
- Skladovací teplota  $-40^\circ\text{ C} / +85^\circ\text{ C}$

[22]



Obrázek 28 – rozměry AC/DC měniče [22]

Popis vývodů:

pin 1 a 5	vstup AC nebo DC
pin 7	výstup DC +5V
pin 9	výstup DC +0V

[22]

#### 6.2.4. Měřicí prvek

Jednou z hlavních funkcí jednotky Master je neustálé měření odběru proudu. Bude tedy nezbytně obsahovat některý měřicí prvek. Pro toto měření můžeme použít nespočet různých prvků, které se nabízejí, jako je měřicí transformátor, Hallova sonda nebo přímo měřicí moduly jak s analogovým, tak i číslicovým výstupem.

##### Hallova sonda

Používá se pro měření a automatickou regulaci magnetických polí, měření velkých stejnosměrných proudů (0,5 až 10 kA), ovládání velkých elektromotorů, měření součinu veličin, bezkontaktní tlačítka, mechanické snímače (poloha, otáčky, zrychlení).

[12]

Hallův článek je součástka, která se používá pro měření magnetického pole. Je tvořen úzkou polovodičovou destičkou, skrze níž prochází proud. Při vložení destičky do magnetického pole prochází ní indukční tok a přeskupuje náboje v destičce na jednu stranu. Na Hallovo článek vzniká napětí. Hallovo napětí se dá vypočítat pomocí vzorce

[12]

$$U_h = k \cdot I \cdot B$$

[12]

$k$  - konstanta (zahrnuje typ materiál a tloušťku destičky)

$I$  - stejnosměrný proud

$B$  - magnetická indukce způsobená magnetickým polem

[12]

Polovodičová destička je tvořena sloučeninami InSb, InAs s odporem 0,01 až 20 Ohmů a tloušťky cca 0,1 mm. Držák destičky nesmí být z feromagnetického materiálu. Destička je opatřena dvěma páry kontaktů pro přívod proudu a k odebrání výstupního Hallova napětí. Nepůsobí-li magnetické pole, jsou proudové dráhy v destičce rozloženy rovnoměrně a Hallovo napětí je nulové. V magnetickém poli působí magnetická indukce na nosiče proudu silou kolmou k jejich pohybu a stlačuje proudové čáry k jedné straně destičky. V důsledku toho

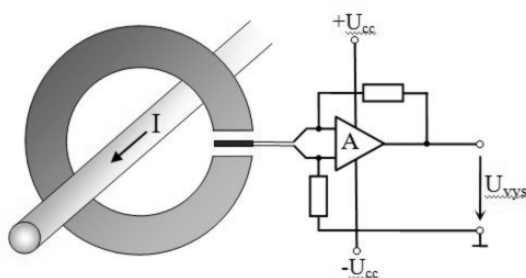
vzniká na tenkých kontaktech rozdíl potenciálů, zvaný Hallovo napětí. Čím je destička polovodiče tenčí, tím je Hallova sonda citlivější. Sonden se proto vyrábí ve formě tenkých polovodičových pásků nebo vrstvy polovodiče nanesených na podložce. Celý systém je chráněn pouzdem.

[12]

### Hallův snímač proudu s otevřenou smyčkou

Technologie s využitím Hallovy sondy v otevřené smyčce je využita především u snímačů s menšími požadavky na přesnost a dynamiku měření. Magnetický tok vytvářený primárním proudem  $I_p$  je koncentrován v magnetickém obvodu snímače. Jeho velikost je měřena ve vzduchové mezeře magnetického obvodu s využitím Hallovy sondy. Signál z Hallovy sondy je zesílen tak, aby bylo dosaženo úměry mezi primárním proudem a napětím na výstupu snímače. Časový průběh výstupního napětí tak kopíruje časový průběh primárního proudu.

[13]



Obrázek 29 – Hallův snímač s otevřenou smyčkou [13]

- Malá konstrukční velikost
- Velký měřicí rozsah
- Minimální hmotnost
- Nízká spotřeba
- Měření bez přídavných ztrát

[13]

### Hallův snímač proudu s uzavřenou smyčkou

Snímač s uzavřenou smyčkou má jádro snímače doplněno o kompenzační vinutí, které svou polaritou potlačuje magnetický tok vytvářený primárním vodičem. Hallova sonda v tomto případě slouží k měření výsledného pole tvořeného rozdílem pole primárního vodiče a pole kompenzačního vinutí. Při vyrovnaní těchto magnetických polí v jádře tak prochází kompenzačním vinutím proud vázaný na primární proud. Tento proud na výstupu snímače reprezentuje průběh a velikost primárního proudu, takže snímač se chová jako transformátor proudu již od stejnosměrných hodnot.

[13]

- Široký frekvenční rozsah
- Dobrá celková přesnost
- Krátká doba odezvy
- Nízký teplotní drift
- Výborná linearita
- Do měřeného obvodu nevznáší ztráty

[13]

### **Měřicí transformátor proudu**

Měřicí transformátory proudu se často používají především pro změny rozsahů střídavých ampérmetrů. Uplatnění také nacházejí pro samostatné měření velkých střídavých proudů, jako ochrana před přetížením nebo zkratem, detekce poklesu nebo vypnutí a podobné aplikace.

[14]

Jejich nespornou výhodou je galvanické oddělení měřeného a měřicího obvodu z důvodů vysoké bezpečnosti.

[15]

jedna z metod měření střídavého proudu protékajícího vodičem je založena na použití proudového transformátoru. Střídavé magnetické pole kolem vodiče, které je přímo úměrné proudu protékajícím vodičem, indukuje v měřicím transformátoru střídavé napětí. Při vhodné konstrukci a správném zatížení transformátoru je výstupní napětí přímo úměrné proudu v měřeném vodiči. Snad největší výhodou této metody je fakt, že měřicí obvod bude galvanicky oddělen od měřeného vodiče a zároveň transformátor nevнесе do měřeného obvodu žádnou přidanou zátěž ani ho nijak neovlivní.

[16]

Z důvodů špatné dostupnosti a vysoké ceny hallové sondy ve formě průvlastkového prvku bude tedy lepší použít pro tuto práci měřicí transformátor proudu například AC1025 firmy Talema, který je nutno doplnit o rezistor  $200\ \Omega$  na kterém se odebírání výstupní napětí v rozsahu  $0 - 5\ V$ . Toto napětí pro přivedení do A/D převodníku mcu je zapotřebí ještě usměrnit a vyhladit jeho průběh vhodným RC členem. Nejlepším řešením bude použití jakéhokoliv měřicího transformátoru přímo s vestavěným převodníkem, kde výstupem bude již upravený rozsah stejnosměrného napětí.

[16]

## SWMU - Měřicí převodník proudu s transformátorem

### Popis:

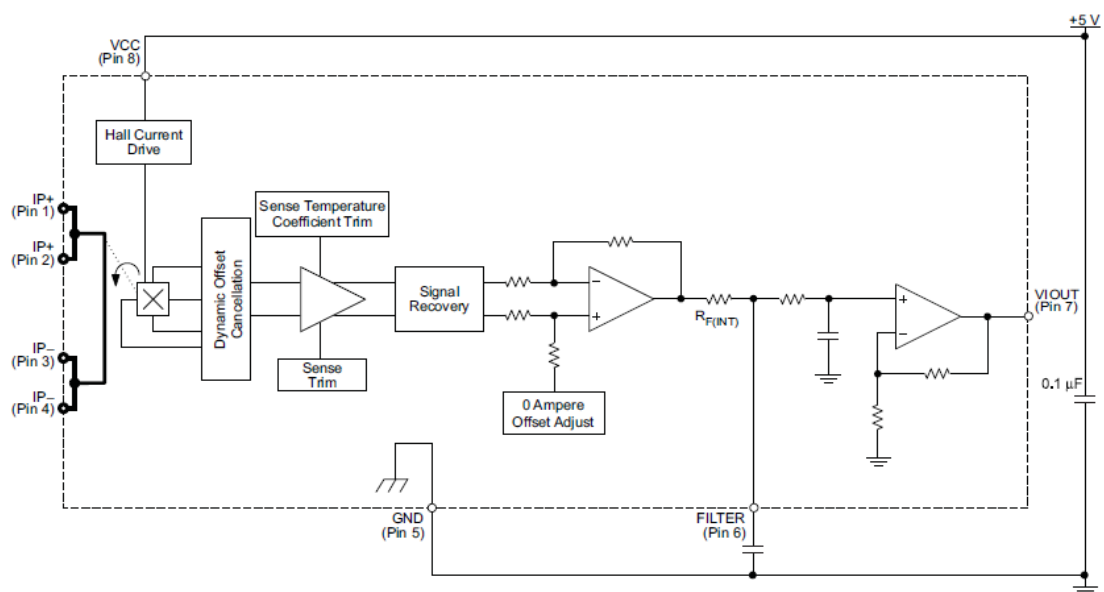
- Integrovaný proudový transformátor s jmenovitým primárním proudem od 1A do 750A
- S pomocným nebo bez pomocného napájení
- Vstupní měřená veličina: střídavý sinusový proud
- Výstupní veličina: stejnosměrné napětí nebo proud
- Výstupní signál je nezávislý na zátěži
- Měřicí metoda (vstupní střídavý proud je transformován na nízkou, elektronice přizpůsobenou velikost, dále je usměrněn a elektronicky převeden na signál úměrný vstupnímu proudu)
- Výstupy odolné vůči zkratu a rozpojení, jejich uzemňovací body nesmí být propojeny
- Jednoduchá instalace a montáž na DIN lištu

[29]

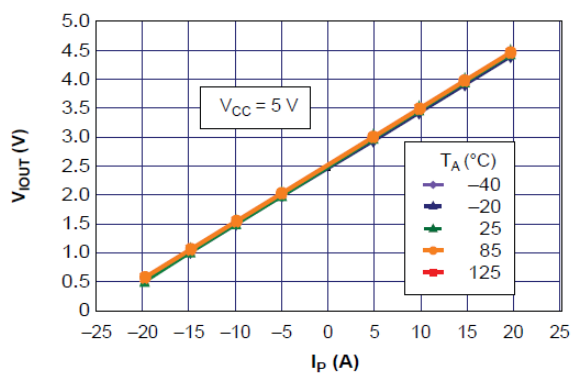


Obrázek 30 – měřicí převodník s transformátorem [29]

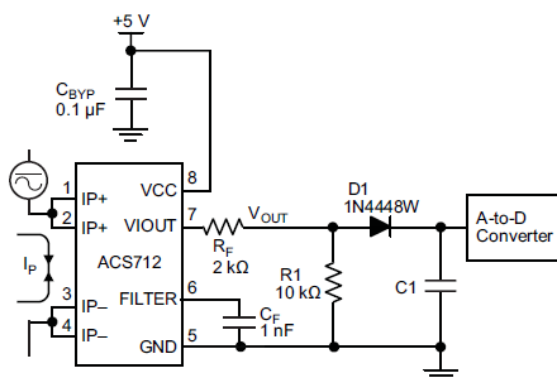
Průvlakové měřicí transformátory mají velkou výhodu že není potřeba přerušovat obvod a tak zachováme měřené zařízení v původní koncepci. V případě že nám nevadí rozpojení měřeného obvodu je asi nejvhodnější variantou použít **senzor proudu ACS712 firmy Allegro**. Ten je založen na Hallově efektu. Senzor je v podobě integrovaného obvodu typu smd ve verzi 5, 20 a 30A, při napájení 5V. Obsahuje prvky pro úpravu signálu, filtry a operační zesilovače. Výstupní napětí je lineární a přímo úměrné měřenému proudu. Pro připojení k AD převodníku mcu je zapotřebí ještě pár nezbytných součástek (obrázek 33).



Obrázek 31 – blokový diagram ACS712 [21]



Obrázek 32 – lineární závislost výstupního napětí na měřeném AC proudu [21]



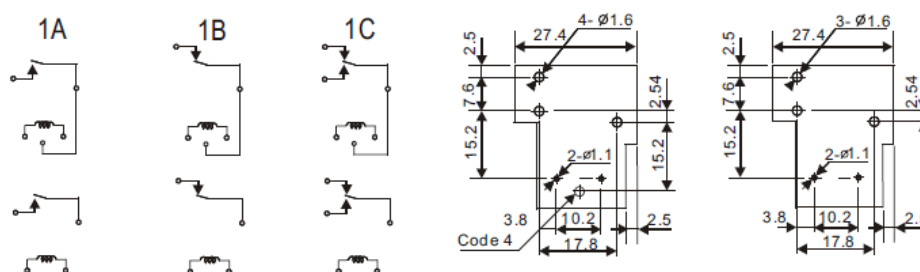
Obrázek 33 – připojení obvodu ACS712 k AD převodníku v mcu [21]

### 6.2.5. Relé pro jednotky slave

Jednotka slave tedy slouží jako mezičlánek mezi síťovou zásuvkou 230 V a spotřebičem. Musí tedy obsahovat také zásuvku 230 V, která bude spínána pomocí relé. Spínaný proud by měl být maximální povolený proud na jednu síťovou zásuvku. S velkou rezervou proto bylo vybráno relé do 250 V a 20 – 30 A se spínacím napětím přímo 5 V firmy Rayex Elec. typ L90.



Obrázek 34 – relé L90



Obrázek 35 – zapojení kontaktů a rozměry relé L90 [17]

### 6.2.6. Spřahovač fází

Jedním z důležitých prvků pro Power Line komunikaci je takzvaný spřahovač fází. Jedná se o filtr, který nám propojí fáze pouze pro kmitočty komunikačních signálů. Tímto je také zajištěno, že tyto signály neprojdou mimo lokální energetickou síť (rodinný dům) a také je tato síť chráněna před vnějším rušením. To se vyskytuje na energetické síti zejména v důsledku zařízení, které nesplňují požadavky EMC. Zařízení se instaluje do rozvaděče za hlavní jistič.

#### Technické parametry:

Napájení: 230 V (+10%/-15%) / 50 Hz

Maximální proud: 63 A

Střední frekvence filtru: 120 kHz

Šířka filtračního pásma: 5 kHz min. (3 dB)

Přímý útlum: 20 dB min. při nulovém proudu, 15 dB min. při 63 A

Zpětný útlum: 15 dB min

Vstupní impedance: 20 W min. na 120 kHz

Mezifázová ztráta: 2 dB max. na 120 kHz

Pracovní teplota: - 10°C to + 40°C

[30]

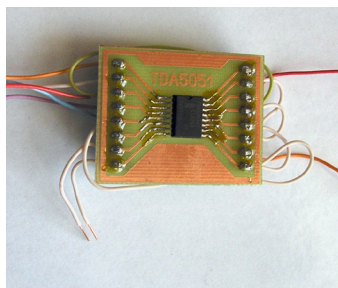




Obrázek 36 – spřáhovač fází X10 [30]

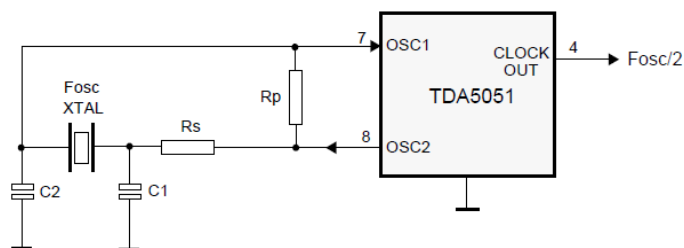
### 6.3. Hardware

Nejprve bylo zapotřebí vyzkoušet komunikaci mezi dvěma PLC modemy (TDA5051). Tomu však předcházelo otestovat komunikaci mezi MCU a tímto modemem. Jelikož tento obvod se vyrábí pouze v pouzdru SMD bylo zapotřebí vyhotovit pomocnou DPS. Na tuto desku byl obvod přileťován a jeho vývody vyvedeny do postraních svorkovnic. Z nich pak bylo možné vyvést vodiče pro zkoušení na kontaktním poli.



Obrázek 37 – pomocná DPS pro vyzkoušení modemu TDA5051

Standardní schéma připojení krystalového oscilátoru podle katalogového listu bylo nutné doplnit sériově řazeným rezistorem s hodnotou  $0 - 3,9 \text{ k}\Omega$ , jinak obvod nebyl funkční a vykazoval velmi vysokou teplotu. Toto zapojení včetně výpočtu a volby hodnot součástek se nachází v rozšířeném katalogovém listu obvodu TDA5051. Výstupní hodinová frekvence pro MCU je poloviční, musíme tedy při programování nastavit frekvenci MCU také na polovinu. Od této oscilační frekvence se odvíjí frekvence nosné což je  $1/64 f_{\text{OSC}}$ . Pokud byla tedy zvolena nosná frekvence  $115,2 \text{ kHz}$ , která leží ve volném pásmu bez nutnosti „Protokolu přístupu“ byl tedy pro obvod TDA5051 zvolen krystalový oscilátor s hodnotou  $7,3728 \text{ MHz}$ .



**Obrázek 38 – schéma připojení krystalu k TDA5051 [18]**

V kontaktním poli byla nejprve vyzkoušena funkce MCU po připojení externích hodin z modemu TDA5051 a následně i komunikace. Pro otestování modemu se cyklicky po 30s nastavovala v MCU na jednom z vývodů logická 1 a 0, což bylo přivedeno na vstup modemu (DATA IN). Na vývodu vysílače byla zjištěna cyklická změna po 3s dvou hodnot (1,5 a 3,5 V). Přesně takovéto chování odpovídá ASK modulaci při dvoustavovém vstupním digitálním signálu. Tento vysílač/přijímač je polo-duplex, to znamená že co je na vstupu je zároveň i na výstupu a při režimu příjmu nesmí být vysílač aktivní (musí být v logické 1), jinak by rušil příjem. Pro monitorování vstupních a výstupních dat byl použit UART terminál, který je součástí vývojového prostředí MicroC PRO. Stačilo tedy přes 9-ti pinový sériový port v PC přivést data.

Dále byla vyzkoušena komunikace mezi dvěma zařízeními vysláním a příjmem dvou čísel po rozhraní UART vestavěné přímo v MCU. Po příjmu signálu na straně přijímače byli čísla vyhodnoceny jako dva stavy jednoho z vývodů a také bylo možno sledovat přijaté data na UART terminálu.

Poté následovalo otestování zda modulovaný signál z modemů je možno připojit přes předem sestavené filtry, které oddělují modem přímo od energetické sítě 230V. Všechny hodnoty součástek použité ve filtru jsou odvozeny od naší zvolené nosné frekvence 115,2 kHz, které se nachází v tabulce rozšířeného katalogového listu TDA5051. LC filtr je tedy navržen pro propouštění zvolené nosné frekvence. Po zařazení filtru jak na straně vysílače tak i na straně přijímače data bez problému procházela.

Posledním úkolem bylo tyto filtry připojit reálně k síti 230 V. Zde už bylo třeba dbát maximální bezpečnosti, proto byl zařazen do síťové zásuvky proudový chránič a vše bylo chráněno plastovou klecí pro znemožnění dotyku. Nejprve byli připojeny samostatně pouze filtry a změřeno zda se síťové napětí nenachází na vývodech pro modem. Poté následovalo připojení i modemů a posílání dat. Data přicházela bez rušení, stejně jako bez připojení na síť 230 V. Tímto byla úspěšně vyzkoušena komunikace po síti 230 V.

## Schéma

Schéma zapojení vychází ze základního schématu z katalogového listu obvodu TDA5051. Za svorkovnicí 230 V je síťová pojistka na 5A, za ní následuje varistor který vyrovňuje přepětíové špičky a obousměrný transil P6KE6V8 pro zvýšení ochrany. Následuje LC filtr který končí posledním ochranným jednosměrným transilem P6KE6V8. Napájecí zdroj

je zde oproti schématu z katalogového listu vyřešen pomocí AC/DC měniče 230/5V. Je to levnější, pohodlnější varianta napájení. Vysílací výstup modemu je připojen přímo k LC filtru, přijímací vstup vede přes kapacitu 10nF. V případě potřeby je přijímací vstup doplněn o zesilovací část. Z důvodu univerzálnosti je vysílač, přijímač i přijímač se zesilovací částí připojen přes odnímatelné propojky. Takto můžeme dle potřeby mít zapojený pouze vysílač nebo přijímač. Krystalový oscilátor, jehož hodnota udává frekvenci modulovaného signálu, je připojen k modemu a výstup hodinového signálu s poloviční frekvencí je připojen na vstup hodin k MCU.

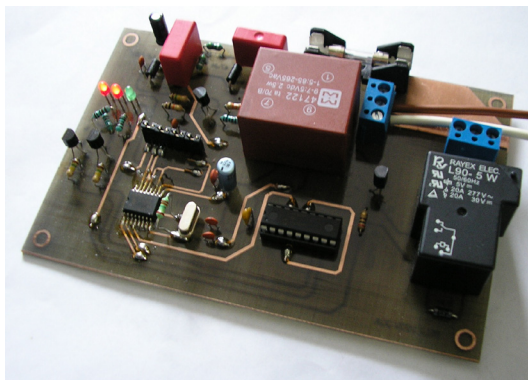
Jednotka master je připravena pro připojení externího měřicího členu. Dále je vybavena kontrolkami vysílání, příjmu a indikací že je jednotka v provozu nebo jiných funkcí.

Jednotka slave obsahuje síťovou zásuvku 230 V, která je spínaná pomocí relé 230 V, 20A. Místo kontrolky provozu je u jednotky slave kontrolka stavu vypnutí síťové zásuvky.

## DPS

Desky plošných spojů jsou navrženy jako oboustranné v programu Sprint layout s rozměry 140x90 a 145x90 mm. Obsahují i větší a těžší zařízení jako je napájecí zdroj nebo spínací relé, proto tloušťka DPS byla zvolena aspoň 1 mm. Je vyrobena pro ruční napájení součástek a umístěna na dno krabice. Na horní straně je síťová zásuvka pro připojení spotřebiče.

I přesto, že zařízení by se mělo ožивovat bez komunikačního modemu z důvodu snadnější manipulace bylo zapotřebí nejprve osadit modem TDA5051, který je typu SMD, poté všechny ostatní součástky a naposled velké komponenty jako napájecí zdroje nebo relé.



Obrázek 39 – DPS spínací jednotky (slave)

## Mechanická konstrukce

Krabice hlavní jednotky tedy obsahuje DPS umístěnou na dně. U jednotky slave byla na horní stranu umístěna síťová zásuvka pro připojení spotřebiče. Na obě jednotky pak byla na boční stěnu připevněna napájecí zásuvka AC typu C14. Z bezpečnostních důvodů krabice nemají žádné uživatelské vstupy a výstupy jako jsou tlačítka nebo zobrazovače.

## 6.4. Software

Při spuštění hlavní jednotky se nejprve podle pořadí připojení do síťových zásuvek jednotky slave nahlásí masteru a ten jim přiřadí číslo priority. Hlavní jednotka tedy má informaci kolik jednotek slave je připojeno. Jednotky slave jsou tedy universální, číslo priority je jim přiřazeno. Poté už cyklicky běží program a čekají na příkazy od hlavní jednotky.

### Hlavní jednotka Master

Hlavní smyčka programu pro prioritní spínání obsahuje identifikaci, kde v případě přečtení identifikačního kódu funkce (identifikace) je proměnná (počet jednotek) inkrementována. Následně je tato proměnná odeslána jednotce slave, která ji přijme jako číslo priority. Následuje přečtení hodnoty analogové veličiny AD převodníkem a vyhodnocení zda byl limit překročen. V případě překročení běží funkce (vypínání) jinak funkce (zapínání).

Ve funkci (vypínání) je odeslána hodnota proměnné (i) která je na počátku rovna jedné, což znamená příkaz pro jednotku s prioritou jedna. V případě že master obdrží zpětnou zprávu inkrementuje proměnnou (i), provede další přečtení analogové hodnoty a vrací se z funkce vypínání do hlavní smyčky.

Ve funkci (zapínání) je nejprve přečtena analogová hodnota, uložena do proměnné a poté porovnávána s předchozí hodnotou. V případě že je menší znamená to, že nastal pokles odběru a jednotka se snaží o připojení. Tímto je zajištěno, že po odpojení spotřebiče se nebude jednotka hned snažit opět o připojení v důsledku poklesu odběru, ale čeká až na další pokles neboli vypnutí nějakého spotřebiče. Pro zapnutí je také odeslána hodnota proměnné (i) a při obdržení zpětné zprávy je naopak dekrementována.

### Jednotka Slave

Po startu programu nejprve odešle kód pro identifikaci. Poté čeká na příchozí data a ty přiřadí do proměnné (zařízení). Tímto jednotka slave má přiřazenu svou jedinečnou prioritu. Následuje cyklická smyčka kde po přečtení dat se buď odpojí v případě že je připojena a naopak.

Vše bylo naprogramováno v jazyce C ve vývojovém prostředí MicroC PRO pro 8bitové mcu PIC firmy Microchip. Tento C kompilátor firmy MikroElektronika obsahuje databáze knihoven pro mcu periférie a tímto výrazně zjednodušuje samotné programování. Dále jsou obsaženy užitečné nástroje jako simulátor běhu programu na mcu, programovací software pro USB, UART terminál, ASCII tabulka nebo editor znaků pro grafické lcd.

## Knihovny pro práci s perifériemi v MicroC

- A/D převodníky
- Sběrnice CAN, I2C, SPI, 1-Wire, UART, RS485
- PWM
- Zvuk
- Klávesnice
- Multimediální karty
- EEPROM, FLASH paměť
- LCD, grafické LCD

Pro samotné programování jednotlivých mcu bylo použito programátoru PIC FLASH2 přímo od firmy MikroElektronika určené pro MicroC. Programátor můžeme napájet jak z USB tak i samostatným zdrojem 5 V.

## 7. Zhodnocení

Vlastní zařízení je tedy sestaveno z hlavní jednotky a demonstračně ze dvou spínacích jednotek pro připojení spotřebičů. Jedná se tedy o demonstrační výrobek avšak po doplnění o měřicí prvek odběru, což je předpokladem, je připraven plně k použití. Jako měřicí prvek byl vybrán senzor proudu ACS712 nebo pokud nechceme zasahovat do měřeného obvodu například měřicí převodník s transformátorem SWMU. Hodnota překročení odběru z rozsahu 0 – 5 V je nastavena v programu hlavní jednotky. Při testování zařízení byl tedy tento měřicí prvek simulován pomocí dvou spínačů. Jeden pro překročení limitu přivedením 5V na A/D převodník a druhý jako simulace vypnutí nějakého spotřebiče (pokles odběru) přivedením 0 V na A/D převodník.

Komunikace po energetické síti probíhala nad očekávání, vezmeme-li v úvahu rušení v síti 230 V. Byla vyzkoušena bez problému na jedné fázi po celém dvoupatrovém rodinném domku. I přes doporučené zapojení přidáním zesilovací části k přijímači modemu TDA5051 nebylo nutné ji použít. Abychom mohli komunikovat i do dalších dvou fází, musel by být zařazen takzvaný spřahovač fází. Jedná se ale o demonstrační výrobek a proto pro testování nebyl použit.

Algoritmus prioritního řízení se podařilo sestavit přesně podle požadavků. Na začátku se spínací jednotky (slave) nahlásí a po přiřazení priority čekají na příkaz (odpojení / připojení). Modulovaný signál z modemu vysílaný tedy do energetické sítě je pouze v krátké době (odpojení / připojení) ve formě jednoho příkazu. Největší komplikace způsobilo komunikační spojení mcu, který je plný duplex a modemu TDA5051, který je poloduplex. Tedy na modemu co je na vstupu vysílače je zároveň i na výstupu přijímače. V mcu, který je plný duplex toto neplatí. Proto při čekání na data v mcu byly okamžitě přečteny data odesílaná.

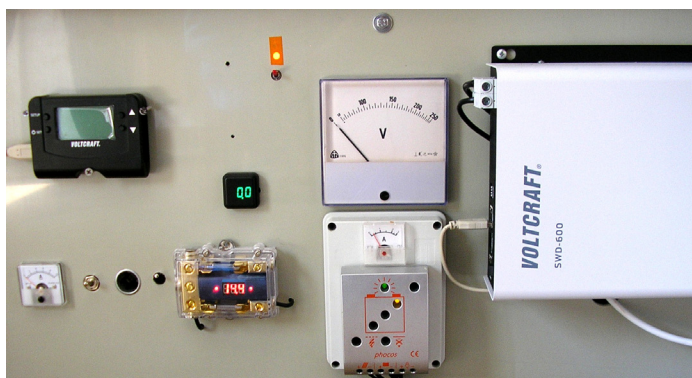
Samotné DPS by bylo možné výrazně zmenšit použitím smd rezistorů nebo některých kondenzátorů na nižší napětí. Bylo by velice efektivní vestavět jednotky slave do krytu pro síťové adaptéry s vestavěnou zásuvkou.

Při oživování byl největší problém s komunikačními modemy. Přesto že tyto obvody nepotřebují mnoho externích součástek, vyskytlo se při zkoušení pár komplikací jako bylo nezbytné přidání sériového rezistoru mezi krystalový oscilátor a obvod nebo nutnost odpojení vysílače při příjmu. Dalším konstrukčním problémem byl napájecí zdroj, který měl galvanické oddělení mezi vstupem a výstupem. Bylo nutné země propojit aby mohl modulovaný signál procházet.

Zařízení bylo podrobena testování po dobu 24 hodin. Hlavní jednotka byla připojena a tedy data by odeslala pouze v případě překročení limitu. Do jedné ze spínacích jednotek byl nahrán testovací program, kdy jednotka čekala na příchozí data a v případě příjmu nastalo trvalé odpojení jednotky s indikací zelené LED. Po dobu testování nebyl limit na AD převodníku překročen, tedy jednotka slave by neměla dostat žádné data. Tímto bylo možné zaznamenat jestli u hlavní jednotky během 24 hodin nenastaly nějaké kolize, náhodné stavy nebo zda rušení na síti neovlivní příjem. Testování proběhlo v pořádku, spínací jednotka po celou dobu zůstala připojena.

## 8. Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit zařízení pro prioritní spínání spotřebičů, které jsou napájeny z obnovitelných zdrojů. Celá tato myšlenka prioritního spínání byla postavena na potřebě nepřekročení odebíraného výkonu z jedné fáze fotovoltaických článků, která je přivedena do rodinného domku, kde je rozvedena do speciálně označených síťových zásuvek. Tyto zásuvky slouží i pro nouzové napájení spotřebičů, kdy v případě výpadku elektrické energie je na nich síťové napětí 230 V z DC/AC měniče 12V/ 600W (obrázek 40). Může sloužit i pro hlídání tohoto maxima a podle priorit odpojit či připojit dané spotřebiče.



**Obrázek 40 – panel nouzového napájení síťových zásuvek s DC/AC měničem pro uplatnění prioritního spínání**

Dalším uplatněním by mohlo být hlídání odběru v běžném bytě, kde maximální odběr je limitován hodnotou jističe. Jedná se spíše o starší byty kde v dnešní době s narůstajícím počtem spotřebičů není tato hodnota adekvátní.

Na trhu existuje mnoho specifických zařízení pro Power Line komunikaci i pro prioritní spínání spotřebičů, nicméně v této práci bylo sestaveno vlastní zařízení s algoritmem prioritního spínání, které komunikuje přes napájecí síť 230 V. Bylo zde vyzkoušeno programování mcu PIC včetně simulací v softwaru Proteus ISIS 7, komunikace po rozhraní UART mezi mcu PIC a komunikačním modemem. Dále v této diplomové práci byly ověřeny teoretické poznatky digitální amplitudové modulace ASK, měření analogové veličiny pomocí mcu a následná práce s filtrací signálu, kdy pro přímé připojení modulovaného signálu bylo nutné odfiltrovat síťový kmitočet 50 Hz. Jelikož se na DPS nachází 230 V byl pro zkoušení zařízení z bezpečnostních důvodů použit proudový chránič. Cena hlavní jednotky včetně dvou spínacích byla vyčíslena na 2300Kč podle seznamu použitých součástí v příloze I.

V teoretické části pak byla rozebrána problematika EMC těchto komunikačních zařízení se zavedením příslušných norem, problematika dodávaného výkonu obnovitelných zdrojů a potřeba prioritně řídit spotřebiče, které jsou napájeny právě z těchto zdrojů.

## Literatura

- [1] Uwe Hallenga, *Malá větrná elektrárna*, nakladatelství HEL, Ostrava 2006
- [2] *Fotovoltaické elektrárny* [online]. 2010, [cit.2012-4-15].  
<<http://www.nemakej.cz/fotovoltaicky-clanek.php>>
- [3] *Solární energie.info* [online]. [cit.2012-4-15].  
<<http://www.solarni-energie.info/solarni-elektrarny.php>>
- [4] *Obnovitelné zdroje energie* [online]. 2008, [cit.2012-4-15].  
<<http://zdrojeenergie.blogspot.com/2008/09/obnovitelne-zdroje-energie.html>>
- [5] Komunikujeme po silových rozvodech. *HW.CZ*, [online]. 2011, [cit.2012-4-15].  
<<http://hw.cz/teorie-a-praxe/art3905-komunikujeme-po-silovych-rozvodech-1-cast.html>>
- [6] Powerline, aneb přenos dat po 220V. *eArchiv.cz*, [online]. 2011, [cit.2012-4-15].  
<<http://www.earchiv.cz/b01/b0500001.php3>>
- [7] Modelování silnoprůdých vedení I-metody. *Access server*, [online]. 2010, [cit.2012-4-15].  
<<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2010070001/>>
- [8] Modulace. *Wikipedie*, [online]. 2011, [cit.2012-4-15].  
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Modulace>>
- [9] Zdeněk Macháček, Pavel Nevřiva, *Modulované signály*, učební text VŠB – TU Ostrava 2011
- [10] ČSN EN 50065-1: *Signalizace v instalacích nízkého napětí v kmitočtovém rozsahu 3kHz až 148,5 kHz*. Březen 2002
- [11] Philips Semiconductor, *TDA5051 Datasheet*, [pdf]. 1997, [cit.2012-4-15].
- [12] Hallova sonda. *Wikipedie*, [online]. [cit.2012-4-15].  
<[http://cs.wikipedia.org/wiki/Hallova\\_sonda](http://cs.wikipedia.org/wiki/Hallova_sonda)>



- [13] Halova sonda. *PEED*, [online]. 2010, [cit.2012-4-15].  
<<http://www.peed.cz/clanky/halova-sonda>>
- [14] Měřicí transformátor proudu. *Elektrika.cz*, [online]. 2012, [cit.2012-4-15].  
<<http://elektrika.cz/terminolog/merici-transformator-trafo-proudu>>
- [15] *Tempower* [online]. [cit.2012-4-15].  
<<http://www.lovato.cz/katalog/Ostatni/clanky/TP2.pdf>>
- [16] Měření střídavého proudu. *HW.CZ*, [online]. 2012, [cit.2012-4-15].  
<<http://www.hw.cz/soucastky/analogove-systemy/presne-a-cenove-vyhodne-mereni-stridaveho-proudu.html>>
- [17] Rayex Elec., *L90 Series*, [pdf]. [cit.2012-4-15].
- [18] Philips Semiconductor, *TDA5051\_zapojení* [pdf]. 1997, [cit.2012-4-15].
- [19] ČSN EN 50065-2: *Signalizace v instalacích nízkého napětí v kmitočtovém rozsahu 3kHz až 148,5 kHz*. Říjen 2003
- [20] ČSN EN 50065-4: *Signalizace v instalacích nízkého napětí v kmitočtovém rozsahu 3kHz až 148,5 kHz*. Březen 2002
- [21] Allegro, *ACS712* [pdf]. 2006-2011, [cit.2012-4-15].
- [22] Myrra, *47000 Series - Electronic Transformers* [pdf]. [cit.2012-4-15].
- [23] Fotovoltaické systémy. *Základní škola Vrchlabí*, [online]. 2004, [cit.2012-4-15].  
<[http://www.zsskolnivr.cz/fotovoltaicke\\_systemy.htm](http://www.zsskolnivr.cz/fotovoltaicke_systemy.htm)>
- [24] Ondřej Pavelka. *Internet ze zásuvky* [online]. 2000, [cit.2012-4-15].  
<<http://www.elektrorevue.cz/clanky/00034/index.html>>
- [25] Standardizace širokopásmových systémů přenosu po energetickém vedení. *Access server*, [online]. 2005, [cit.2012-4-15].  
<<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005112801%3E.%20ISSN%201214-9675>>
- [26] Modulační a přenosová rychlost. *eArchiv.cz*, [online]. 2011, [cit.2012-4-15].  
<<http://www.earchiv.cz/a96/a639k150.php3>>

- [27] Microchip, *PIC16F87/88* [pdf]. 2005, [cit.2012-4-15].
- [28] Microchip, *PIC16F627A/628A/648A* [pdf]. 2004, [cit.2012-4-15].
- [29] Měřicí převodník proudu s transformátorem. *GHV Trading*, [online]. 2012, [cit.2012-4-15].  
<<http://www.ghvtrading.cz/rozvadecove-pristroje/prevodniky/proudu/swmu31.html>>
- [30] Marmitek, *Phase coupling* filter FD10 [pdf]. [cit.2012-4-15].  
<<http://www.hybsys.bg/img/d1/automation/FD10.pdf>>

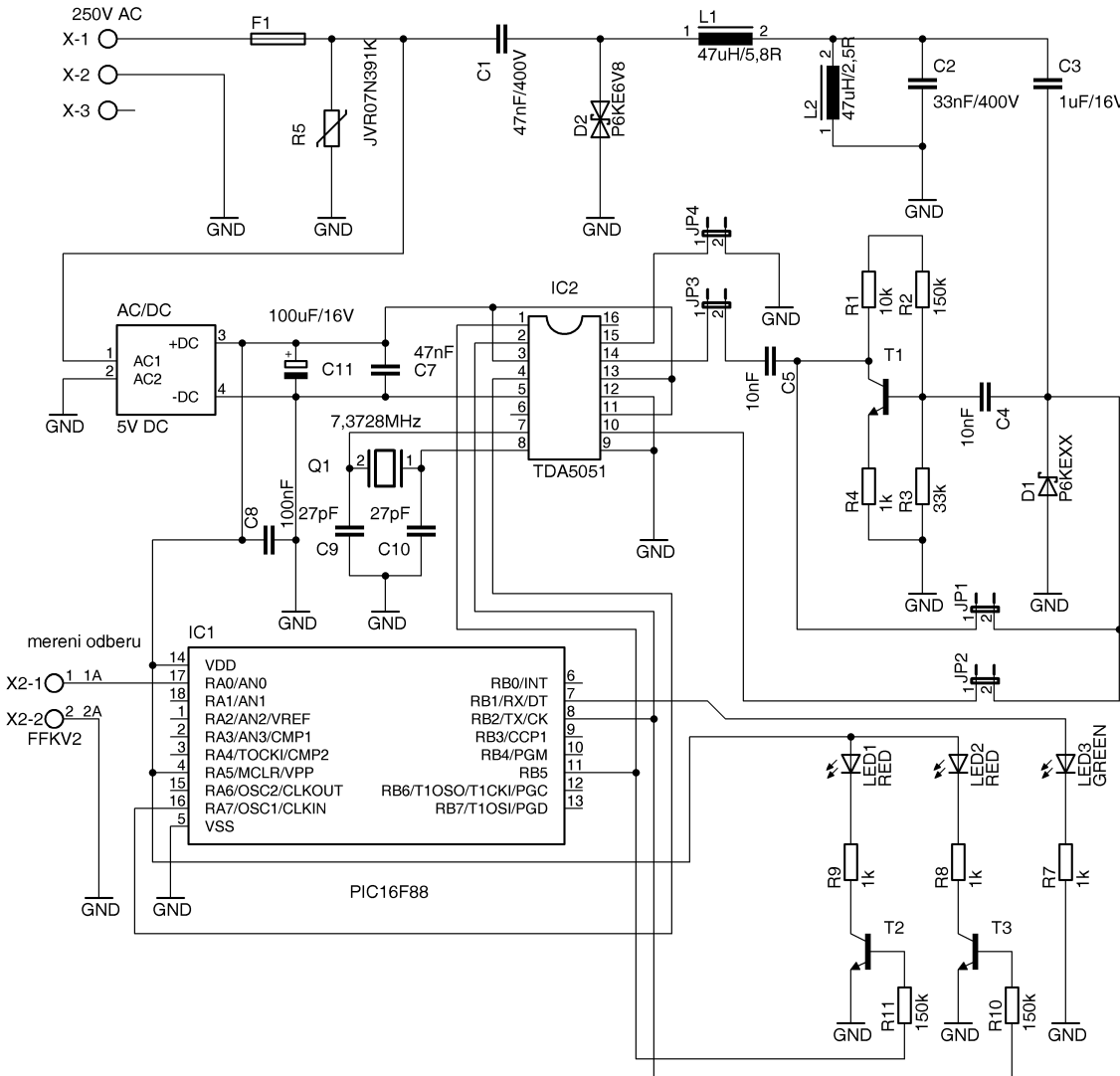
## Seznam příloh

- I. Seznam použitých součástek
- II. Schéma hlavní jednotky (master)
- III. Schéma spínací jednotky (slave)
- IV. DPS hlavní jednotky – horní strana (strana součástek)
- V. DPS hlavní jednotky – spodní strana
- VI. DPS spínací jednotky – horní strana (strana součástek)
- VII. DPS spínací jednotky – spodní strana
- VIII. Algoritmus programu hlavní jednotky
- IX. Algoritmus programu spínací jednotky
- X. Hotové zařízení
- XI. Kód programu hlavní jednotky v jazyce C [master.txt] – elektronická příloha na CD
- XII. Kód programu spínací jednotky v jazyce C [slave.txt] – elektronická příloha na CD

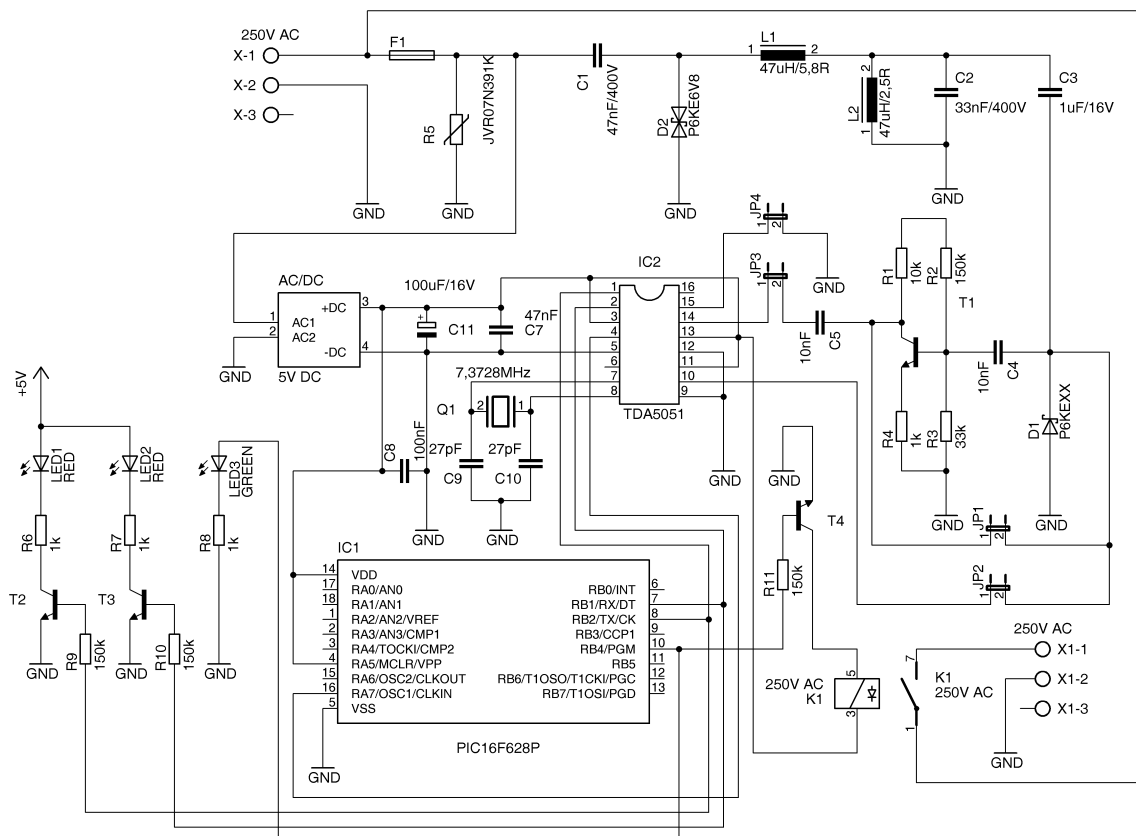
## I. Seznam použitých součástek

Název	Typ	Ks	Cena (Kč)
mcu	PIC16F88	1	100
mcu	PIC16F628	2	140
modem	TDA5051	3	450
AC/DC měnič 230/5V	Myrra	3	430
transil	P6KE6.8A-LF	3	15
transil	P6KE6.8CA-LF	3	15
varistor	JVR07N391K	3	6
krystal	7,3728M-HC49-S	3	40
indukčnost 47uH 50hm	DLA 47	6	18
kondenzátor 47nF	MC7,5-47N 250V	3	18
kondenzátor 33nF 50V	MKS4-33N	3	17
kondenzátor 10nF	CC-10N	6	1
tranzistor	BC546B	9	15
kondenzátor 47nF	CCK-47N	3	1
kondenzátor 27pF	CC-27	3	1
rezistor 150 kOhm	1/4W 150K	9	1
rezistor 33 kOhm	1/4W 33K	3	1
rezistor 10 kOhm	1/4W 10K	3	1
rezistor 1 kOhm	1/4W 1K	12	1
kondenzátor 1uF	elektrolyt	3	15
pojistka 5A	0217005 HXP	3	10
pojistkové pouzdro	0031,8231	3	30
svorkovnice 3-pólová	DG300-5.0-3P12	5	20
svorkovnice 2-pólová	DG381-3-2P11	1	3
kolíková lišta 6pin	ZL201-08G	3	3
relé	L90-5W	3	90
napájecí konektor AC	6100.3100	3	25
krabice	polyester	3	180
síťová zásuvka 230V	VZ 16	2	120
LED červená	2,5 mm	6	5
LED zelená	2,5 mm	3	3
DPS	1 mm	3	500

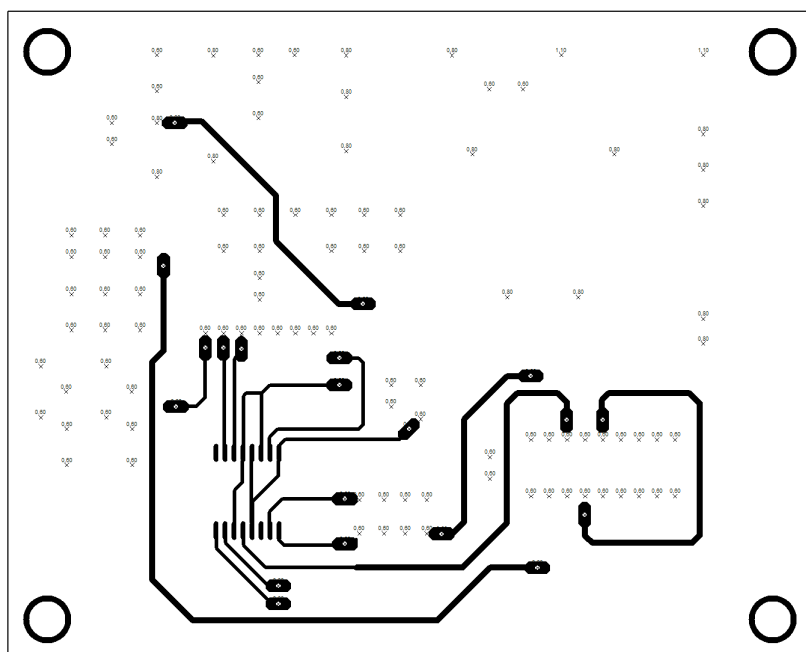
## II. Schéma hlavní jednotky (master)



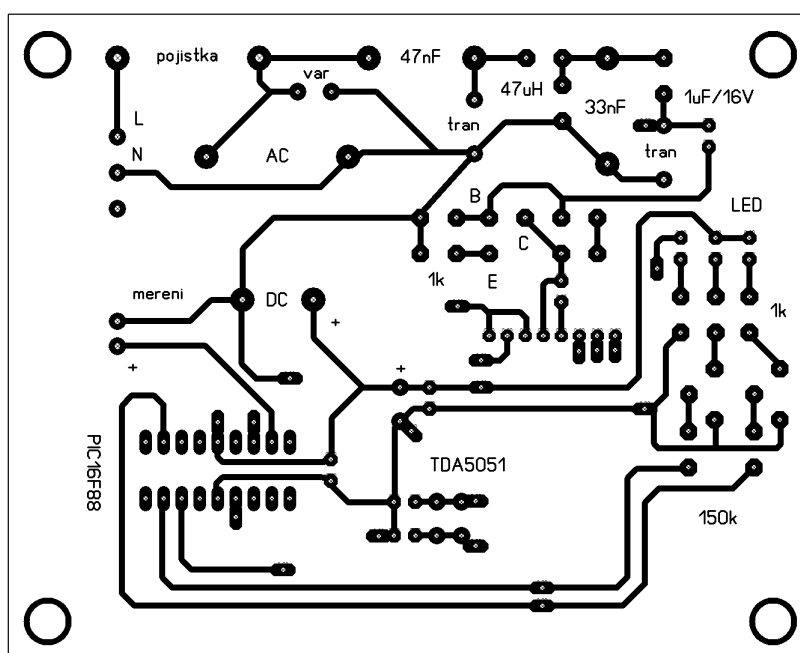
### III. Schéma spínací jednotky (slave)



#### IV. DPS hlavní jednotky – horní strana (strana součástek)

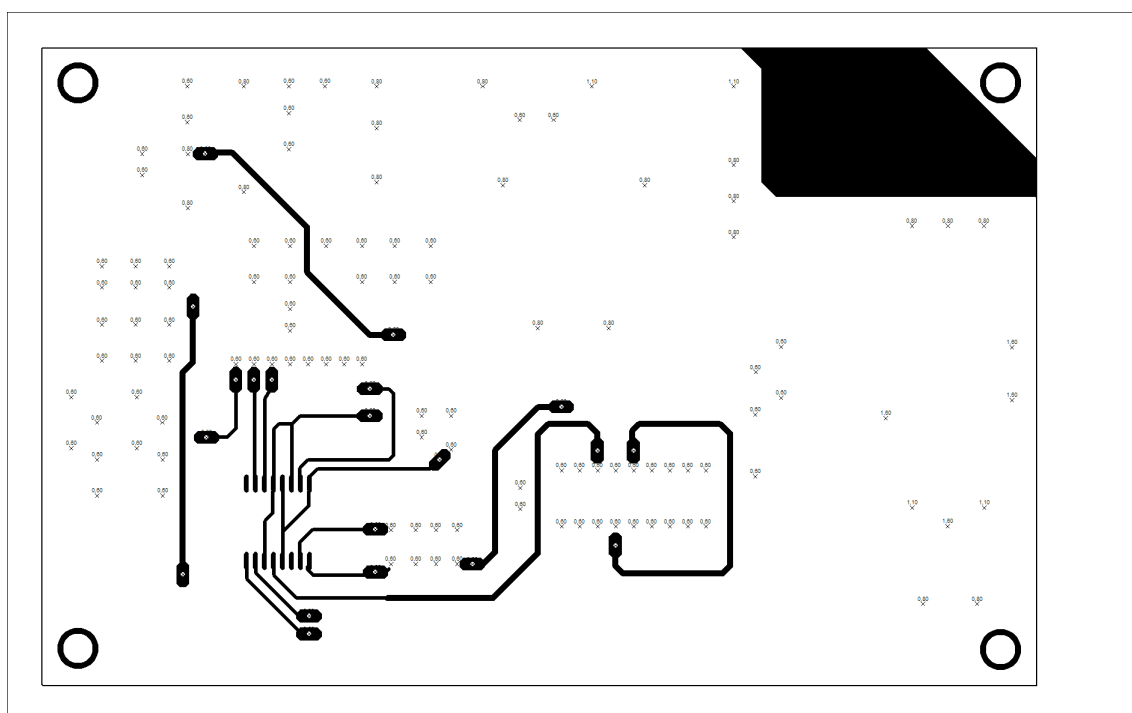


## V. DPS hlavní jednotky – spodní strana

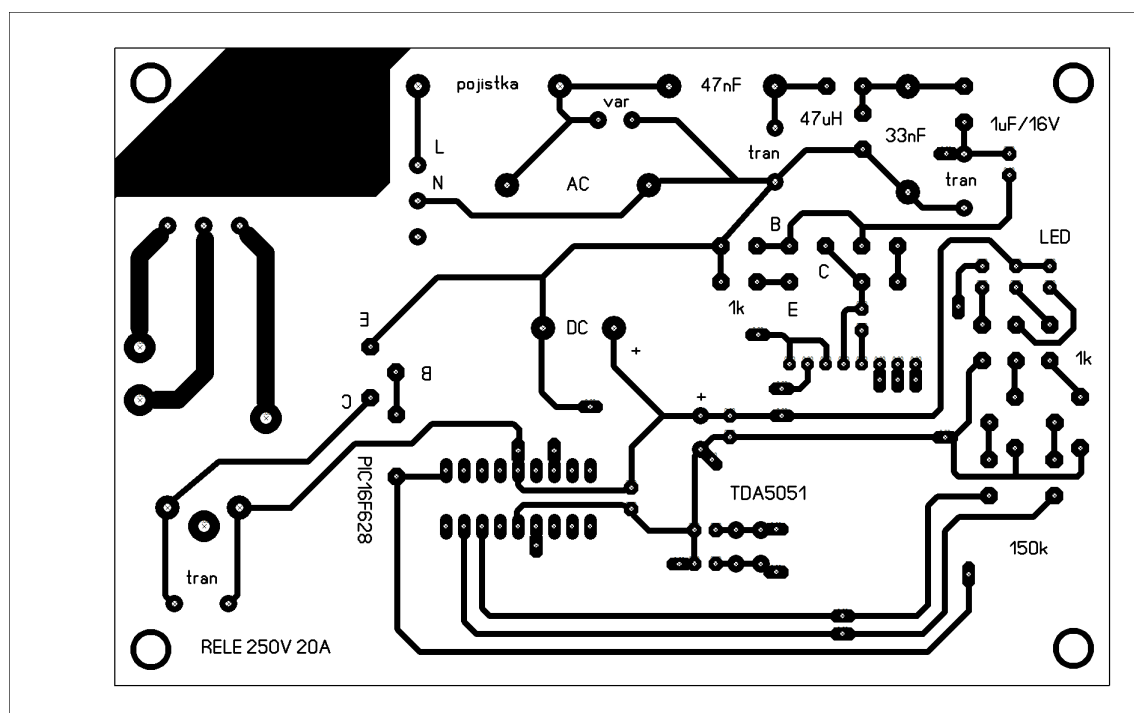




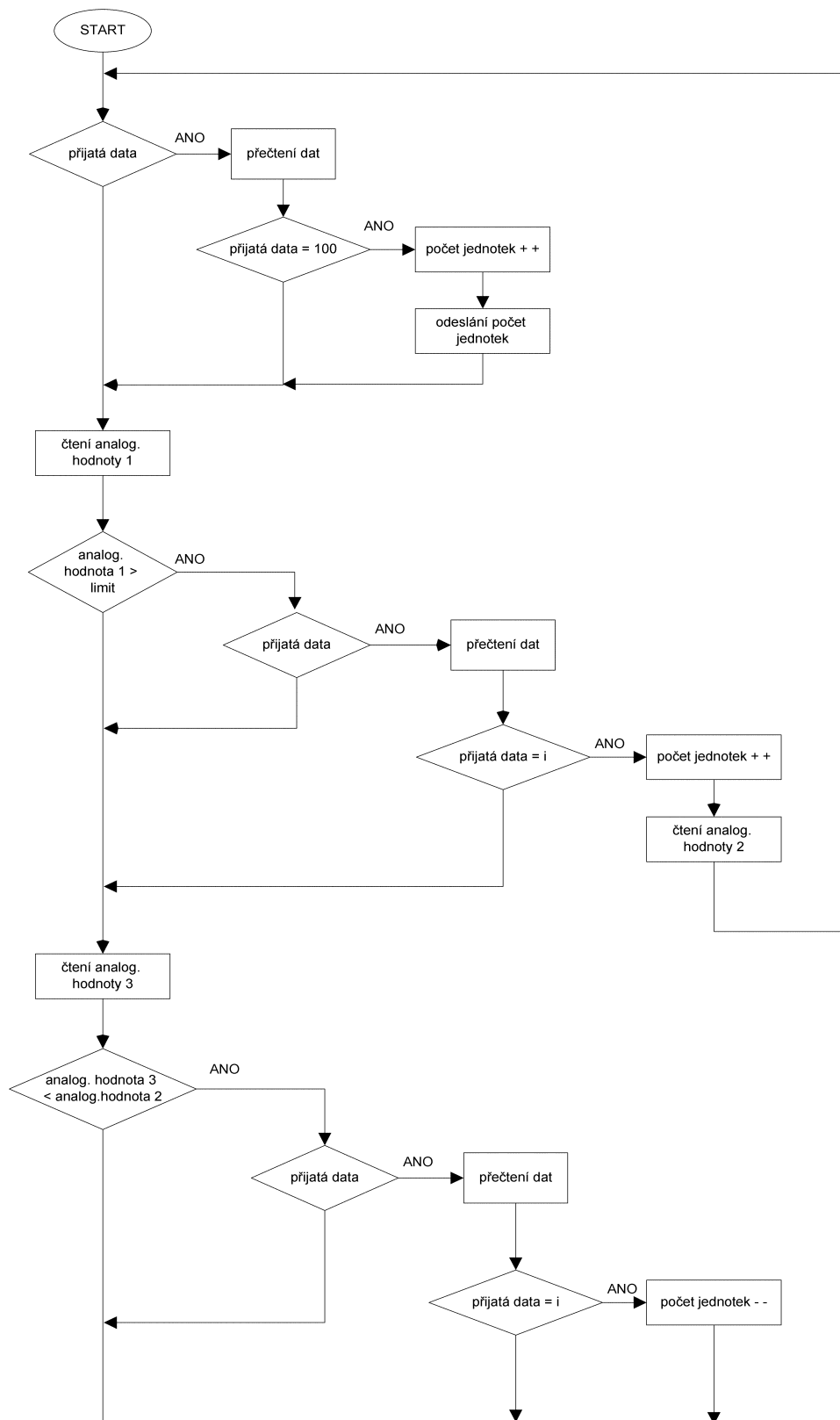
## VI. DPS spínací jednotky – horní strana (strana součástek)



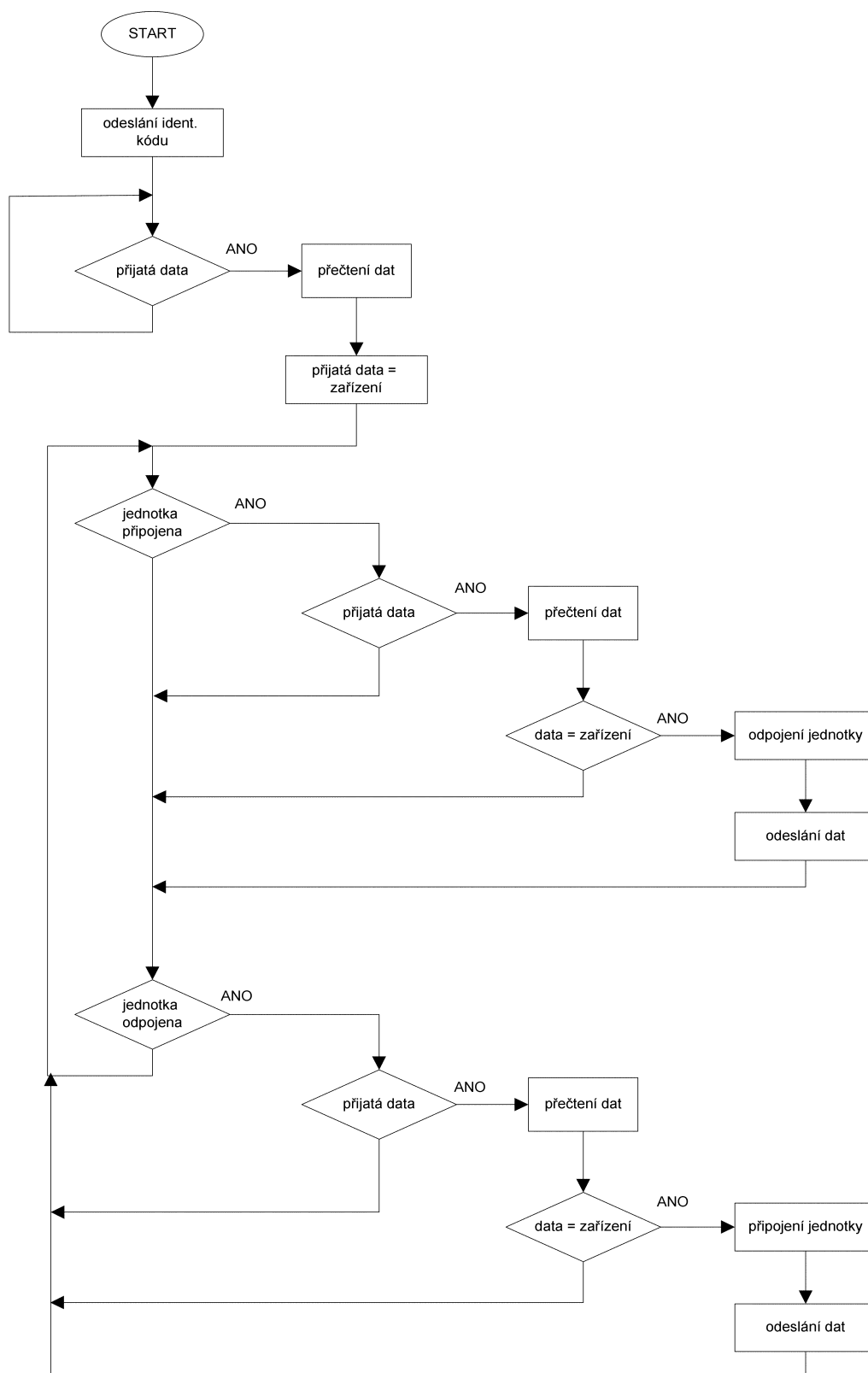
## VII. DPS spínací jednotky – spodní strana



## VIII. Algoritmus programu hlavní jednotky



## IX. Algoritmus programu spínací jednotky



## X. Hotové zařízení

